



Talotehtaan valaistussuunnittelu

Jukka Sironen

Opinnäytetyö

Toukokuu 2017

Tekniikan ja liikenteen ala

Insinööri (AMK), automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma

Sähkövoimatekniikka

Jyväskylän ammattikorkeakoulu

JAMK University of Applied Sciences

Tekijä(t) Sironen, Jukka	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Toukokuu 2017
	Sivumäärä 43	Julkaisun kieli Suomi
		Verkkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Talotehtaan valaistussuunnittelu		
Tutkinto-ohjelma Automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Hytönen Vesa, Hukari Sirpa		
Toimeksiantaja(t) Jetta-Talo Oy		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli tarkastella valaistuksen uusimista ja uusimisesta aiheutuvia kustannuksia Jetta-Talo Oy:lle. Valaistuksen uudistuskohteita olivat yrityksen tehdashallit, varastot ja ulkoalueet. Yrityksen nykyisen valaistuksen kunto on huono eikä valaistus täytä nykyisiä standardin vaatimuksia. Uudella valaistuksella saavutettava energiansäästö kiinnosti yritystä ja valaistuksen ohjauksen vaikutusta hankkeen kustannuksiin.</p> <p>Kohteista tehtiin DIALux-ohjelmalla valaistusmallit, joiden kautta saatiin tarvittavat valaisinmäärät. DIALux -mallien luontiin käytettiin standardien vaatimuksia sisä- ja ulkovalaistuksen osalta. Laskettuja valaisinmääriä hyödynnettiin investointilaskelmissa, joissa tarkasteltiin hankkeen takaisinmaksuaikaa. Investointilaskelmat tehtiin Excel-taulukkolaskenta-ohjelmalla.</p> <p>Tuloksena saatiin Jetta-Talo Oy:lle kartoitus valaistuksen nykyisestä tilanteesta. Samalla yritys sai käyttöönsä investointilaskelmat valaistuksen uusimisesta aiheutuvista kustannuksista, sekä investoinnin takaisinmaksuajan tietoonsa. Toimeksiantaja sai rakennuksista Dialux-mallit käyttöönsä, jos yritys haluaa tarkastella muita valaistusratkaisuja rakennuksiinsa. Yritys sai investoinnit kolmella eri valaistusvaihtoehdolla riippuen valaisimien ohjausmäärästä.</p> <p>Valaistusmallit täyttävät yrityksen vaatimukset ja toiveet valaistuksen päivittämisestä tämän päivän standardien mukaiseksi. Suunniteltu valaistus puolittaa energiakustannukset ja ohjauksen avulla energiansäästö on vielä suurempi. Tehdyt kustannuslaskelmat kelpasivat yritykselle. Kuitenkin uusi valaistus parantaa työympäristöä, työturvallisuutta ja työntekijöiden työhyvinvointia.</p>		
Avainsanat (asiasanat)		
Sisävalaistus, ulkovalaistus, investointi, Dialux, ledit, tehdas		
Muut tiedot		

Author(s) Sironen, Jukka	Type of publication Bachelor's thesis	Date May 2017
		Language of publication: Finnish
	Number of pages 43	Permission for web publication: x
Title of publication Lighting design for house factory		
Degree programme Automation Engineering		
Supervisor(s) Hytönen, Vesa & Hukari, Sirpa		
Assigned by Jetta-Talo Oy		
<p>Abstract</p> <p>The aim of the thesis was to investigate the lighting renewal and renewal costs of lighting for Jetta-Talo Oy. The renewal of the lighting included factory halls, warehouses and outdoor areas of the factory. The current illumination does not meet the current standard requirements of the company's work environment. The company was interested in the possible energy savings achieved with the new lighting and the project costs caused by the lighting control.</p> <p>Excel Spreadsheet program was used as the implementation method for the investment calculation to examine the repayment period of the investment. For the investment calculation, DIALux models were made from the factory facilities to determine the number of luminaires needed for the new lighting. These DIALux calculations meet the interior and exterior lighting standards.</p> <p>The thesis resulted in a mapping of the current lighting situation of Jetta-Talo Oy. The company also received investment calculations caused by the costs of lighting renewal and the repayment period of the investment. The company got the DIALux models for their use in case the company want to examine other lighting solutions for factory facilities. The company received investments with three different lighting options, depending on the level of the lighting control.</p> <p>The lighting models meet the requirements of the company which were to upgrade the factory lighting to meet the requirements of the current standards. The company approved of the investment calculations. However, the new lighting improves the working environment, safety at work and the well-being of the employees.</p>		
Keywords/tags (subjects)		
Indoor lighting, outdoor lighting, leds, factory, Dialux, investment		
Miscellaneous		

Sisältö

1	Johdanto	4
2	Valaistuksen perussuureet	5
3	Valaisimet	9
3.1	Loistelamput	10
3.1.1	Kaksikantaiset loistelamput	10
3.1.2	Yksikantaiset loistelamput	10
3.2	Elohopealamput	11
3.3	Suurpainenatriumlamput	11
3.4	Monimetallilamput	13
3.5	Led-lamppu	15
3.6	Liitântälaitteet	16
3.6.1	Konventionaalinen liitântälaitte	16
3.6.2	Elektroninen liitântälaitte	17
4	Valaistuksen ylläpito	18
4.1	Huolto	18
4.2	Valaistuskustannukset	19
5	Valaistuksen ohjaus	20
5.1	Hämäräkytkin	20
5.2	Liiketunnistin	20
5.3	Kellokytkin	21
5.4	DALI-ohjausjärjestelmä	21
5.5	Analoginen 1-10V-ohjausjärjestelmä	22
6	DIALux-valaistuslaskentaohjelma	22
7	Investointilaskelma	23
7.1	Nykyarvomenetelmä	24
7.2	Takaisinmaksuajanmenetelmä	25
8	Tehtaan valaistus	25

8.1	Nykyinen valaistus	25
8.2	Uusi valaistus	28
9	Uuden valaistuksen investointilaskelmat	34
10	Pohdinta	38
	Lähteet	40
	Liitteet	41
	Liite 1. Investointilaskelmat eri vaihtoehtoilla	41

Kuviot

Kuvio 1.	Ilmakuva Jetta-konsernin tehdasalueesta Perhossa	4
Kuvio 2.	Värilämpötilan kuvaaja.....	8
Kuvio 3.	Valaisimien käyttötunnit	10
Kuvio 4.	Erilaisten valaisimien Ra-arvoja sekä värilämpötiloja	13
Kuvio 5.	Valaisimien valoteho heikentyy käyttötuntien kasvaessa	14
Kuvio 6.	Valaisimien valontuottojen kehitys	16
Kuvio 7.	Mallikuva DIALux-ohjelmasta	23
Kuvio 8.	Tehdashallin nykyinen valaistus	26
Kuvio 9.	Varaston nykyinen valaistus.....	27
Kuvio 11.	Valaistusmallien takaisinmaksuajat	37

Taulukot

Taulukko 1.	Nykyisen valaistuksen vuosittaiset ylläpitokustannukset	28
Taulukko 2.	Uuden valaistuksen tehot ja kappalemäärät.....	30
Taulukko 3.	Nykyisen ja suunnitellun valaistuksen tehonkulutukset	30
Taulukko 4.	Standardin 12464-1 vaatimukset varastoille	31
Taulukko 5.	Standardin 12464-2 asettamat vaatimukset ulkovalaistustasojille	32
Taulukko 6.	Standardin 12464-1 asettamat vaatimukset puunkäsittelyä tekeville tiloille	33

Taulukko 7. Valaisimien hinnat ja kokonaiskustannus valaistuksen osalta	34
Taulukko 8. Uuden valaistuksen purku- ja asennuskustannukset ilman ohjausta	35
Taulukko 9. Nykyisen ja uuden valaistuksen ylläpitokustannukset	36
Taulukko 10. Valaistuksen energiakustannukset	36

1 Johdanto

Led-valaisimien kehitys on ollut viime vuosina nopeaa. Erityisesti kymmenen viime vuoden aikana ledien kestävyys on parantunut ja hinnat ovat laskeneet. Kestävyyteen on vaikuttanut etenkin ledien virtalähteiden laadun parantuminen. Markkinoilla on paljon valaisimien valmistajia, joten kilpailun ansiosta ledien hinnat ovat laskeneet sellaiselle tasolle, että valaisimien vaihtoa kannattaa harkita isoissakin tiloissa. Led-valaisimien ohjattavuus ja valoteho ovat parhaat ominaisuudet, jotka tekevät ledeistä todella monikäyttöisiä valaistuksessa.

Jetta-konserni on perheyhtiö, joka on erikoistunut mekaanisen puunjalostuksen pariin. Jetta-konserni jakautuu kahteen yritykseen Jet-Puu Oy:hyn ja Jetta-Talo Oy:hyn. Jet-Puu Oy keskittyy puiden sahaukseen ja jatkojalostamiseen. Jetta-Talo Oy puolestaan toimittaa suurelementeistä valmistettuja valmistalopaketteja. Jetta-Talo Oy on yksi Suomen suurimpia valmistalopakettien valmistajia ja toimittajia. Molemmat yritykset sijaitsevat vierekkäin Perhossa Keski-Pohjanmaalla (Jetta-talo Oy 2017.) Kuviossa 1 on etualalla Jetta-Talo Oy:n rakennukset ja taka-alalla on Jet-Puu Oy:n sahalaistot sekä jatkojalostushalli ja varastot.



Kuvio 1. Ilmakuva Jetta-konsernin tehdasalueesta Perhossa (Jetta-talo Oy 2016)

Yritys halusi suorittaa tarkastelun nykyisen valaistuksen korvaamisen led-valaisimilla ja yksi syy miksi tarkastelu haluttaan suorittaa on nykyisen valaistuksen kunto hal-
leissa alkaa olla huono. Myös nykyisen valaistuksen puutteet ovat mahdollista korjata valaistuksen uusimisen myötä. Uusimalla valaistus saavutetaan energiansäästöä, joka on suoraan rahallista säästöä yritykselle. Toimeksiantaja oli saanut myös jonkin ver-
ran tarjouksia erilaisista led-ratkaisuista ja halusi selvittää, kannattaako valaistus uu-
sia käyttämällä ledejä.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia valaistuksen uusimisesta aiheutuvia kuluja sekä investoinnin takaisinmaksuaikaa. Samalla yrityksen valaisimien määrät ja energi-
ankulutus tuli kartoittaa. Investointilaskelmat laadittiin kolmella eri valaistuksenoh-
jauksen laajuudella. Uusittu valaistus parantaa työntekijöiden turvallisuutta ja työs-
kentely olosuhteita. Tällaiset asiat ovat hankala mitata rahassa, joten työympäristöä
parantavat asiat eivät suoraan tule ilmi investointilaskelmista.

Tietoperustan lähteenä toimivat valaistusta määrittelevät standardit ja valaistukseen
liittyvä kirjallisuus. Kirjallisuutta käytetään opetusmateriaalina ammattioppilaitok-
sissa ja ammattikorkeakouluissa. Opinnäytetyö tehdään käyttämällä valaistuksen
mallintamiseen Dialux-ohjelmaa, joka on tehty valaistuslaskentaa helpottamaan. In-
vestointilaskelmat tehdään käyttämällä Excel-taulukkolaskentaohjelmaa.

2 Valaistuksen perussuureet

Valaistuksen mittausta varten on kehitetty yksiköitä, sekä kaavoja. Tässä osiossa esi-
tellään työn kannalta olennaiset suureet.

Valovoima

Valovoima on valaistussuureiden perusyksikkö, josta kaikki muut suureet ovat joh-
dettu. Valovoima ilmoittaa valonlähteen intensiteettiä, joka tarkoittaa valolähteestä
määrättyyn suuntaan säteilevän valon voimakkuutta. Valovoiman yksikkönä toimii
kandela [cd] ja tunnuksena toimii (I). Kandela tulee englannin kynttilää tarkoittavasta

sanasta. Aluksi kandelan määrittämiseksi käytettiin tarkoin perustein valittua kynttilää. Hehkulamppujen kohdalla lampun jännite valittiin siten, että valovoimaksi tuli 16 kandela. (Halonen 1992, 34-35.)

Valovirta

Valovirta kuvaa valolähteen säteilytehoa. Valovirran yksikkönä käytetään luumen [lm], ja valovirran tunnuksena on Φ . Valovirta ilmoittaa valolähteen säteilytehon, joka on painotettu silmän spektriherkkyyden mukaisesti. (Halonen 1992, 35.)

Valovirtaa voidaan käyttää kuvaamaan lampun antaman näkyvän valon kokonaismäärän suuruutta. Esimerkiksi 7 W:n led-lamppu tuottaa 700 lm:n suuruisen valovirran ja saman tehoinen pienoisloisteputki tuottaa 380 lm:n suuruisen valovirran. (Ahoranta 2011, 323.)

Valaistusvoimakkuus

Valaistusvoimakkuus ilmoittaa valonlähteestä määrätyle pinnalle säteilevän valovirran tiheyttä. Valaistusvoimakkuuden tunnus on (E) ja yksikkönä toimii luks [lx]. (Halonen 1992, 36.) Valaistusvoimakkuus on valovirran ja valaistavan pinta-alan suhde, sekä valaistusvoimakkuus on kääntäen verrannollinen etäisyyden neliöön (Ahoranta 2011, 324.)

Työalueella valaistusvoimakkuuden merkitys korostuu, jotta henkilö kykenee suoriutumaan turvallisesti, nopeasti ja miellyttävästi työtehtävistään. Myös suuria valaistusvoimakkuuden vaihteluja tulisi välttää, koska ne saattavat aiheuttaa silmien väsymistä ja epämukavuuden tunnetta. Standardin mukaisesti valaistusvoimakkuuden tasot ovat 20 – 30 – 40 – 50 – 75 – 100 – 150 – 200 – 300 – 500 – 750 – 1 000 – 1 500 – 2 000 – 3 000 – 5 000 (lux). Tällaista porrastusta käyttäen valaistustasojen vaihtelut ovat havaittavissa silmällä. Myöskään työpisteiden ympäristössä valaistustaso ei saisi muuttua enempää kuin yhden tason ylemmäksi tai alemmaksi. (SFS-EN 12464–1:2011, 16.)

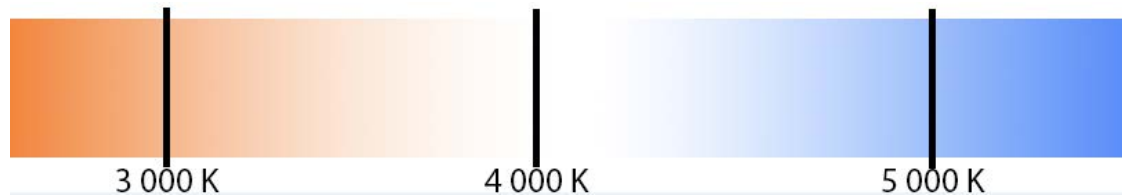
Luminanssi

Luminanssi ilmoittaa valaistusta kohteesta heijastuneen valon suuruuden. Luminanssin suuruuteen ja sitä myöten tarkasteltavan pinnan kirkkauteen vaikuttaa pinnan heijastamiskyky ja valaistusvoimakkuuden suuruus. Myös yhtenä vaikuttavan tekijänä toimii valon suunta sekä valon heijastuskulma (Tiensuu 2010, 7.) Luminanssin tunnus on L ja yksikkönä toimii kandela per neliömetri [cd/m^2]. Luminanssin kasvaessa tarkasteltava pinta näyttää kirkkaammalta. (Suureita ja yksiköitä n.d.)

Työpaikalla luminanssijakauma määrää työntekijän silmien sopeutumistason ja näin ollen vaikuttaa työntekijän kykyyn nähdä haluttu kohde. Myös luminanssijakauman avulla parannetaan työntekijän näkömukavuutta. Oikein suunniteltu luminanssijakauma on tasapainoinen, jolloin näöntarkkuus paranee, kontrastiherkyys kasvaa ja näköaistin toiminnat tehostuvat. Puolestaan liian suuri luminanssi voi aiheuttaa työntekijässä häikäisyä ja näköväsymystä silmien yrittäessä koko ajan sopeutua liian suureen luminanssikontrastiin. Jos luminanssijakauma on liian pieni tai liian alhainen, työympäristöstä tulee yksitoikkoinen ja tylsä. (SFS-EN 12464-1:2011, 14.)

Värilämpötila

Värilämpötilaa käytetään, kun halutaan määritellä säteilyn lähteen väri. Värilämpötila määritellään vertaamalla tutkittavaa säteilyn lähteen valon värilaadun vastaavuutta mustaan kappaleeseen. Värilämpötilan yksikkönä käytetään kelviniä (K). Lämpimän valkoisen värilämpötila on noin 3 000 K ja kirkkaan valkoisen värilämpötila on 4 000 K (ks. kuvio 2). Väriltään lämpimän valkoinen valo on kellertävä ja kirkas valo on enemmän sinertävä. (Halonen 1992, 59.) Värisävyltään lämpöiseksi määritellään alle 3 000 K:n valo, 3 300 -5 300 K:n valo koetaan neutraaliksi ja yli 5 300 K:n valo on sävyltään kylmä (Ahoranta 2011, 324.)



Kuvio 2. Värilämpötilan kuvaaja

Värilämpötilalla on työntekijään psykologisia ja esteettisiä vaikutuksia. Myös se, mitä pidetään luonnollisena, on yksi valintaperuste värilämpötilan kohdalla. Työpaikalla valintaan vaikuttaa valaistusvoimakkuuden taso, tilan värit sekä tilan käyttötarkoitus. Useimmiten kylmässä ilmassa käytetään lämpimän sävyisiä valoja eli värilämpötilaltaan 3 000 K:n sävyisiä valoja. Kuitenkin työvalaistuksena käytetään yleensä kylmän sävyisiä valoja. (SFS-EN 12464-1:2011, 29.)

Värintoisto

Värintoiston mittaamiseksi on kehitetty yleinen värintoistoindeksi Ra. Ra-indeksin suurin arvona on 100 ja arvon pienentyessä valaisimien värintoistokyky heikkenee. Pienimpänä värintoiston arvona toimii nolla. Standardeissa määritellään erilaisia minimivaatimuksia eri tiloihin valaisimien värintoiston osalta. (Tiensuu 2010, 7.) Esimerkiksi halogeenilamppujen värintoistoindeksi on arvoltaan 100, mutta led-lamppujen Ra-indeksi on alle 80 (Ahoranta, 2011, 324.) Värintoiston tulee olla työpaikalla sellainen, että ihmiset näyttävät terveiltä ja miellyttäviltä. Myös ihon värien tulee toistua luonnollisena, jotta näkötehokkuus, työntekijöiden mukavuus ja hyvinvointi olisivat parhaimmalla mahdollisella tasolla. Työpisteellä tulee myös erottaa työn tekemiseen tarvittavat välineet ja työn kohteen selkeästi, jotta työn tekeminen on turvallista. (SFS-EN 12464-1:2011, 30.)

Häikäisyindeksi UGR

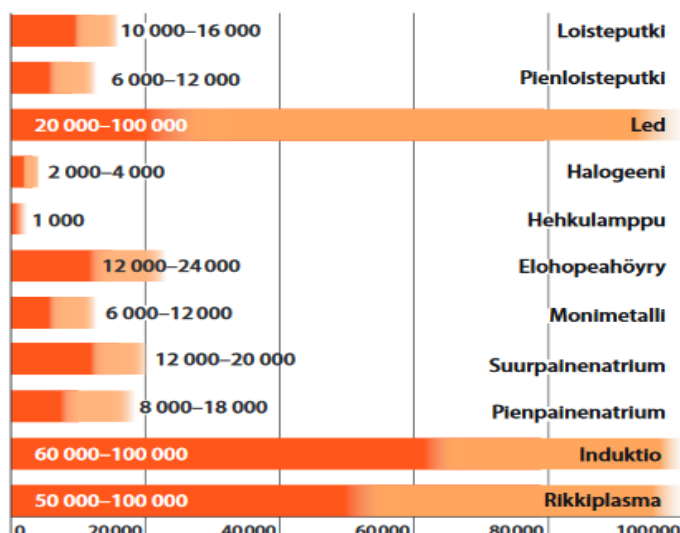
Häikäisyindeksi UGR (Unified Glare Rating) ilmoittaa kiusahäikäisyn suuruuden. Häikäisy syntyy, jos tilan luminanssijakauma on epätasainen tai luminanssitaso muuttuu

liian nopeasti. Yksi kiusahäikäisyä aiheuttava tekijä on myös ikkunoista tuleva aurin-gonsäteily. Muita häikäisyn tapoja ovat estohäikäisy, jonka aiheuttaa näkökenttään loistava kirkas valonlähde, tai suuret luminanssierot, joiden takia näkeminen estyy. Harsoheijastuminen aiheutuu puolestaan kiiltävistä pinnoista heijastuvan valon häikäisevästä vaikutuksesta. (Valaistussuunnittelija käsikirja n.d., 461.)

Häikäisyä aiheuttavat kirkkaat kohteet, joita ovat esimerkiksi valaistut pinnat ja valaisimien osat. Häikäisyn estämisellä on positiivinen vaikutus väsymyksen, virheiden ja tapaturmien välttämiseksi. Jos valaistussuunnittelussa on saatu alitettua standardin mukainen kiusahäikäisyn suuruus, niin myöskään estohäikäisy ei aiheuta ongelmia. (SFS-EN 12464:2011, 24.)

3 Valaisimet

Valaisimia valmistetaan usealla erilaisella valonlähteellä. Jokaiselle valaisintyypille löytyy oma käyttötarkoitus, ja ne sopivat erilaisiin valaistusratkaisuihin. Nykyisten purkaustekniikkaan perustuvien valaisimien rinnalle on tullut led-valaisimet. Kuvioista 3 on nähtävissä kuinka erilaisten valonlähteiden käyttötunnit vaihtelevat. Erilaisten valaistustekniikoiden käyttöiät vaihtelevat suuresti, mikä tulee huomioida valaistusta suunniteltaessa. Seuraavissa luvuissa on käsitelty Jetta-konsernin tehtaassa olevien erilaisten valaisintyyppien teknisiä tietoja.



Kuvio 3. Valaisimien käyttötunnit (RT 75-11118 2013, 4.)

3.1 Loistelamput

3.1.1 Kaksikantaiset loistelamput

Loisteputkien valontuotto on 80 – 100 lm/W. Loisteputkien valontuotto on hyvä, joten loisteputkia käytetään paljon eri valaistuksissa. Loisteputkien etuna on myös pitkä elinikä ja loistelamppuja valmistetaan useilla eri tehoilla. Loisteputkien värilämpötila on 3 000–5 000 K. Näin ollen loisteputkivalaisimia käytetään sisätiloissa etenkin tehdasympäristöissä. Ulkokäytössä loisteputkia on vähemmän, koska sytytykset vähentävät lamppujen kestävyyttä. (Tiensuu 2010, 31.)

Loisteputkien polttoaika vaihtelee 10 000 tunnista jopa 80 000 tuntiin. Värilämpötilaan vaikuttaa paljolti loisteputken valomäärän suuruus. Valomäärän kasvaessa loistevalaisimen väriominaisuudet heikkenevät. Myös loisteputkien valontuotto heikkenee ympäristön lämpötilan laskiessa. (Ahoranta 2011, 330.)

3.1.2 Yksikantaiset loistelamput

Yksikantaisia loistelamppuja kutsutaan myös pienoisloistelampuiksi tai energiansäästölamppuiksi. Toimintatavaltaan yksikantainen loistelamppu toimii samalla tavalla kuin

kaksikantainen loistelamppu. Kierrekantaiset energiansäästölamput sopivat suoraan hehkulampun tilalle E14- tai E27-kantaan. Pienisloistelamppu on yleensä taivutettu U-, H- tai kierteiseen muotoon, jolloin lamppu vie vähemmän tilaa kuin suora kaksikantainen loistelamppu. Pienisloistelamppujen heikkoutena on lamppujen syttymisessä oleva viive, sekä lamput antavat kaiken valovirran vasta lampun ollessa tovin päällä eli lampun lämmettyä. (Ahoranta 2011, 330.)

3.2 Elohopealamput

Elohopealamputta valo syntyy elohopeakaasun läpi kulkevan virran ansiosta, joten elohopealamppu on tyypiltään kaasupurkauslamppu. Lamputta on pienimäärä argonia lampun syttymisen helpottamiseksi. Muita kaasupurkauslamppuja ovat suurpainenatrium- ja monimetallilamput. Elohopealamputta on lampun kuvun sisäpinalla kerros loisteainetta, jolla osa lampun ultraviolettisäteilystä muutetaan näkyväksi valoksi. Elohopealamput antama väri on sävyltään sinertävää. Elohopealamputissa käytetään kytkettäessä verkkoon kuristinta, minkä avulla saadaan rajattua virta haluttuun arvoon. Elohopealamput kestää pari minuuttia syttyä, ennen kuin lampusta saadaan täysi valovirta. Sammuttamisen jälkeen elohopealamppu ei syty uudelleen välittömästi, vaan vasta sitten, kun lamppu on jäähtynyt riittävästi, voidaan lamppu sytyttää uudelleen. Elohopealamput ovat kuitenkin poistuneet myynnistä vuonna 2015, ja korvaavina lamppuina ovat toimineet monimetalli- ja suurpainenatriumlamput. (Ahoranta 2011, 333.)

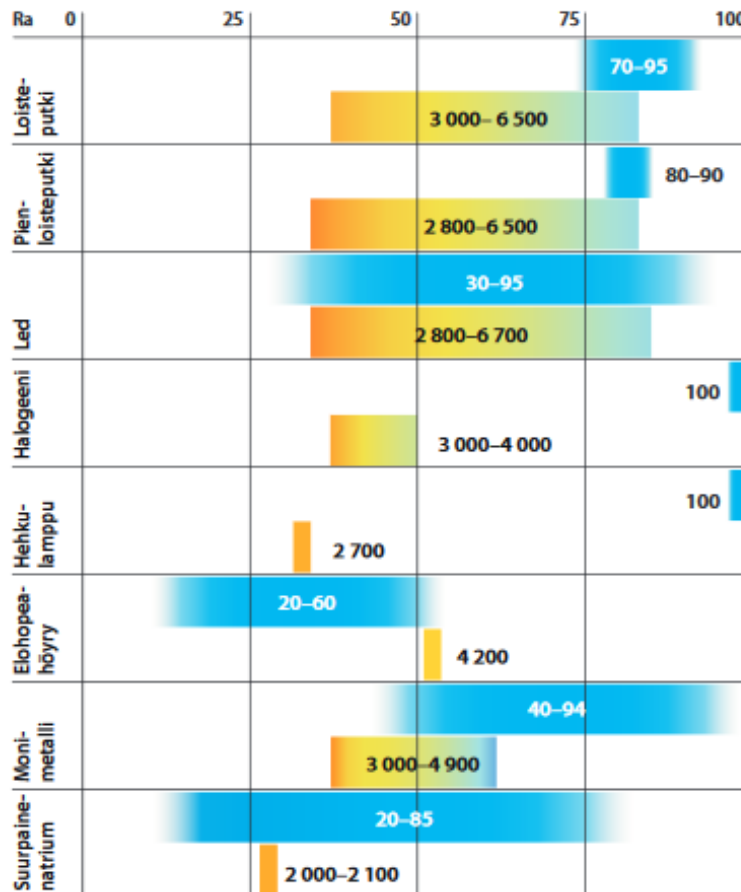
3.3 Suurpainenatriumlamput

Suurpainenatriumlamputta natriummetalli höyrystyy sähkövirran avulla purkausputkessa, jolloin syntyy oranssinsävyistä valoa. Suurpainennatriumlamputta värilämpötila on noin 2 100 K. Värintoistokyky vaihtelee valotehokkuuden mukaan. Valotehokkuuden ollessa matala värintoisto ylittää aina R_a arvoon 85. Mutta jos halutaan maksimoida lampun valotehokkuus, värintoisto laskee R_a arvoon 50. Suurpainenatriumlamputta tulee olla kuristin, joka rajoittaa lampun virtaa. Jossain tapauksissa käytetään

myös sytytintä. Jos käytetään elektronista liitäntälaitetta sytytin jää tarpeettomaksi. Sytytin ei ole pakollinen, jos valaisin on rakennettu siten, että lamppu syttyy kuristimen avulla. Suurpainenatriumlampuilla on pitkä syttymisaika, valaisimella voi kulua useita minuutteja syttymiseen. (ST 58.08 2009, 8.)

Suurpainenatriumlamppujen valontuotto on 80 - 130 lm/W. Suurpainenatrium on valotehokkain ja luotettavin valaisin käytettäväksi ulkotilojen valaisemiseksi. Suurpainenatriumvalaisimia pystytään myös säätämään. Niitä voidaan käyttää valonohjauksella pihan valaisemiseen, jolloin on mahdollista saavuttaa energiansäästöjä sekä vaikuttaa valotason suuruuteen. (Tiensuu 2010, 29-30.)

Kuviosta 4 nähdään, kuinka suurapainenatriumvalaisimen värintoisto, vaihtelee 20 ja 85 välillä ja on elohopeahöyrylampun kanssa huonoimmasta päästä. Kuviossa 4 sinisellä olevat arvot ovat Ra-arvoja, joiden maksimi on sata. Toinen kuvion arvo kertoo valaisimien värilämpötilojen vaihtelun. Samasta kuviosta havaitaan suurpainenatriumvalaisimen värilämpötilan pieni vaihteluväli verrattuna kilpailijaan monimetallivalaisimeen. Tästä johtuen tilan värisävyyn pystyy paremmin vaikuttamaan monimetallivalaisimella



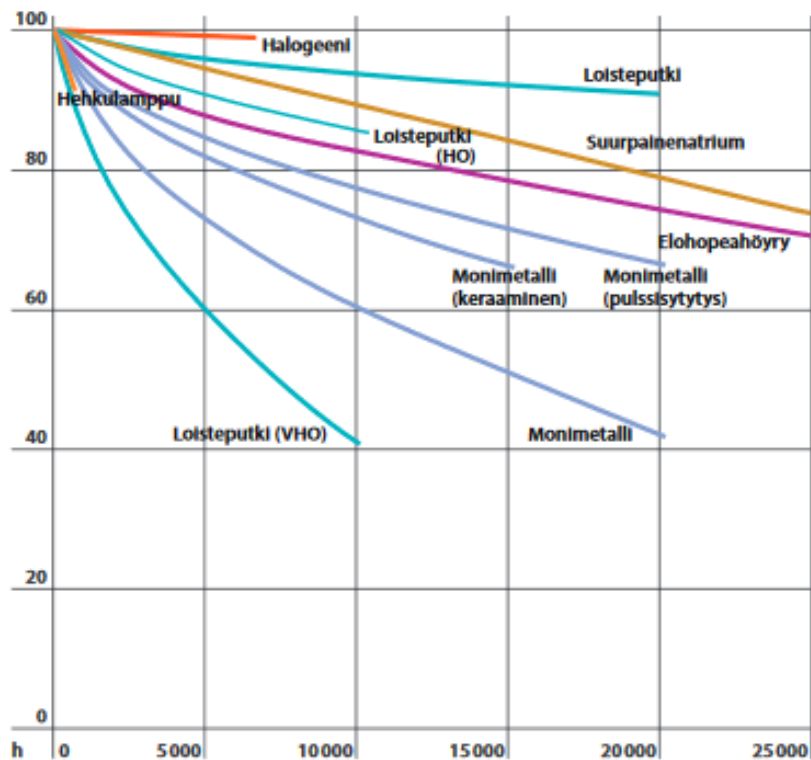
Kuvio 4. Erilaisten valaisimien Ra-arvoja sekä värilämpötiloja (RT 75-11118 2013, 4)

3.4 Monimetallilamput

Monimetallilampuissa purkausputken sisällä on eri metallin halogeeniyhdisteitä, jotka tuottavat valon. Sen mukaan mitä yhdisteitä käytetään, monimetallilampun tuottama värilämpötila vaihtelee. Monimetallilamput voidaan jakaa kahteen ryhmään purkausputken materiaalin mukaan: keraamisiin ja kvartsilasiin. Kvartsilasiset ovat yleensä isotehoisia valaisimia. Kvartsilasisien lamppujen värintoisto ja valotehokkuus ovat huonompia kuin keraamisten lamppujen. Lampun verkkoon kytkemiseksi käytetään elektronista liitälaitetta, jonka ansiosta monimetallilamppuja voidaan myös himmentää. (Ahoranta 2011, 333.)

Monimetallilamppujen valontuotto on 70 -115 lm/W ja värilämpötila on lämpimän valkoinen. Värintoisto monimetallilampuissa on todella hyvällä tasolla, joten niitä

käytetään paljon teollisuudessa. Monimetallilamppujen ongelma on valovirran aleneminen lampun käyttötuntien lisääntyessä. Kuviosta 5 on nähtävissä, kuinka monimetallivalaisimen valoteho putoaa 40 % 10 000 käyttötunnissa, kun samassa ajassa suurpainenatrium valaisimen valotehon on pudonnut vain 10 %. (RT 75-1118 2013)



Kuvio 5. Valaisimien valoteho heikentyy käyttötuntien kasvaessa (RT 75-11118 2013, 2)

Jotta monimetallilamppua voidaan himmentää, tarvitaan erikoisliitântälaite omalla himmennyspiirillä varustettuna. Lamppua himmennettäessä värintoistokyky heikenee ja värilämpötila muuttuu kylmemmäksi. Lampun syttymisaika on pari minuuttia, kuten muillakin purkauslamppuilla. Monimetallilamppu ei syty uudestaan heti, vaan joudutaan odottamaan lampun jäähtymistä ennen uudelleensyöttämistä. (Tiensuu 2010, 30.)

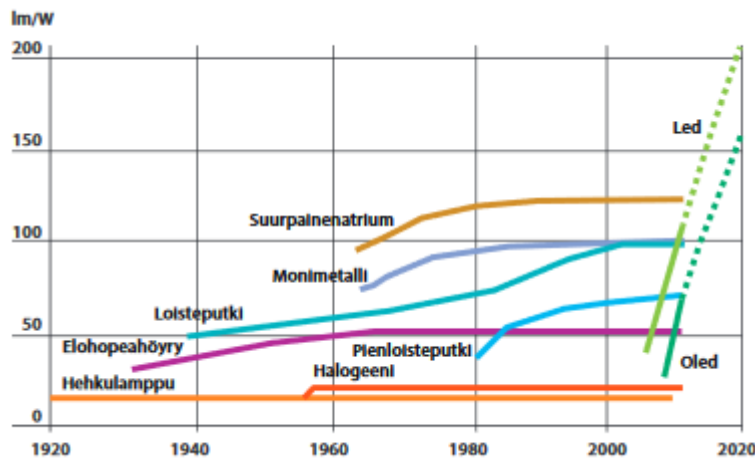
3.5 Led-lamppu

Ledissä valontuotto tapahtuu puolijohdeosassa. Ledin puolijohdekomponentti koostuu kahden tyyppisestä puolijohdeosasta: n- ja p-tyypin puolijohdeosista. N-tyyppi johtaa elektroneja ja p-tyyppi puolestaan aukkoja. Elektronien ja aukkojen kohtaamispaikassa syntyy valoa. Puolijohdeosien koostumusta vaihtelemalla voidaan tuottaa erilaisia valon värejä. Ledeillä on mahdollista tuottaa valkoinen valo yhdistämällä sinistä, punaista ja vihreää valoa tai johtamalla sinisen ledin valo fluoresoivan väriaineen läpi. Yhdistämällä värejä valkoisen ledin värinvalmistuskyky laskee yhdistämisestä syntyneiden epäjatkuvuuskohtien seurauksena. (RT 75-11118 2013, 5). Valkoisen ledin värinvalmistuskyky R_a on 70-95. Led tarvitsee verkkojännitteellä toimiakseen liitäntäyksikön, koska led käyttää tasajännitettä valon tuottamiseksi. Yleensä tasajännitettä synnytetään käyttämällä hakkuritehonlähdettä, mutta helpoin tapa on käyttää oikein mitoitetun tasajännitemuuntajan. Ledin paloaikaksi luvataan jopa 100 000 tuntia, mutta keskimääräinen paloaika tällä hetkellä on 30 000 käyttötunnissa. Käyttötunneissa on kuitenkin suuria vaihteluita valmistajien välillä. Ledit toimivat parhaiten viileässä lämpötilassa, joten jäähdytys on tärkeää ja käyttöympäristönlämpötila tulee huomioida. Lämpötilan noustessa yli + 40 °C:n lyhenee ledien käyttöikä merkittävästi. Ledejä pysytään myös himmentämään tehokkaasti. Himmentämiseen käytetään hakkuritehonlähteen avulla tehtävää pulssinleveysmodulaatiota, jolla lediä sytytetään ja sammutetaan suurella taajuudella, jota ei ihminen kykene havaitsemaan. (LED n.d.)

Ledien tuottaman valon spektri on kapea, joten nykyinen värinvalmistusindeksi ei kuvaa oikealla tavalla ledin muodostamaa värivaikutelmaa kaikissa tilanteissa. Ledien värinvalmistuksen mittaamiseen on kuitenkin kehitteillä uusi mittausmenetelmä, joka kuvaa paremmin ledien kykyä toistaa värejä. (Näin vertaillet ledivalaisimia 2.0 2016.)

Ledit ovat olleet olemassa jo pitkään, mutta kyseessä on ollut tavallisesti pieniteholedi. Kuitenkin viime vuosien aikana teholedit, joiden teho on noin 1 W, ovat halventuneet riittävästi valaistusteollisuuden käytettäväksi. Ledien valotehokkuus on tällä hetkellä 100–150 lm/W, mutta oletettavasti seuraavan vuosikymmenen aikana ledit saavuttavat tehon 200 lm/W. Kuviosta 6 on nähtävissä, kuinka viimeisen vuosi kymmenen aikana ledien tehokkuus on kasvanut ja ennustetaan nousevan tehokkaim-

maksi tavaksi tuottaa valoa. Ledien valotehokkuuden kasvu on ollut nopeaa ja ennusteiden mukaan ledien valontuotto kasvaa jopa kaksinkertaiseksi monimetallilamppuihin nähden. (Kymmenen asiaa, jotka sinun tulee tietää ledeistä 2013.)



Kuvio 6. Valaisimien valontuottojen kehitys (RT 75-11118 2013, 2)

3.6 Liitäntälaitteet

3.6.1 Konventionaalinen liitäntälaitte

Konventionaalisen liitäntälaitteen tehtävä on rajoittaa purkauslampulle menevää virtaa. Liitäntälaitte sisältää kuristimien, sekä joissain tapauksissa sytyttimen. Kuristin on yleisin konventionaalinen liitäntälaitte purkauslamppuihin. Rakenteeltaan kuristin on hyvin yksinkertainen ja tämän takia myös halpa komponentti. Kuristimien toimintavarmuus on myös hyvä, joten kuristimia käytetään hyvin paljon purkausvalaisimissa. Kuristin on induktiivinen laite, jonka tehtävänä on rajoittaa virtaa. Purkausvalaisimen sytyttämiseksi tarvitaan sytytin. Tänä päivänä sytyttimet ovat elektronisia, mutta aikaisemmin on käytetty myös hohto- ja varmuussytyttimiä. Elektroninen sytytin voi antaa vakiohehkuvirtaa tai pienenevää hehkuvirtaa. Vakiovirran ongelmana on, jos lamppu ei syty suuri vakiovirta vahingoittaa liitäntälaitetta tai itse lamppua. Pienenevä hehkuvirta puolestaan lähenee nollaa, jos valaisin ei syty. Elektronista sytytintä käyttäessä lampun syttymisaika on alle sekunnin. (Halonen 1992, 290-294.)

Suurpainenatriumvalaisin tarvitsee syttyäkseen kilovolttien jännitepiikkejä, joita annetaan elektronisella sytyttimellä. Elohopeavalaisimilla puolestaan on sisäänrakennettu sytytys elektrodi, joten erillistä sytytintä ei tarvita. Näin ollen elohopea valaisin ei tarvitse syttyäkseen ja loistaakseen muuta kuin kuristimen. Monimetallilamppu tarvitsee erillisen sytyttimen, vaikka ominaisuuksiltaan se vastaakin elohopeavalaisinta. (Halonen 1992, 295-304.)

3.6.2 Elektroninen liitântälaitte

Elektronisella liitântälaitteella voidaan korvata kuristin, sytytin ja kompensointikondensaattori. Liitântälaitteella saadaan nopeutettua lampun syttymistä. Viallisen lampun syttymisyrietykset eivät toistu. Liitântälaitte myös tarkkailee lämpötilaa, jolloin valaisin sammuu lämpötilan kasvaessa liian korkeaksi. Purkausvalaisimien valovirta kasvaa taajuuden noustessa. Elektronisella liitântälaitteella pystytään nostamaan syöttöjännitteen taajuutta 20 - 50 kHz, jolloin lamppu tarvitsee pienemmän tehon saman valotehon tuottamiseen kuin konventionaalista liitântälaitetta käytettäessä. Suurtaajuusella lamppuvirralla purkausvalaisimessa ei esiinny välkyntää, eikä valaisin jää välkymään loppuun palaneena. Elektronisella liitântälaitteella saadaan valaisimen poltto aika pidemmäksi, mutta liitântälaitte aiheuttaa verkkovirtaan harmonisia yliaaltoja. (Halonen 1992, 300–304.)

Elektronisella liitântälaitteella pystytään parantamaan suurpainenatriumvalaisimen valotehoa ja samalla pienentämään itse valaisimen painoa ja liitântälaitteen kokoa. Elektronisen liitântälaitteen tehohäviöt ovat pienemmän kuin kuristimen. Valotehokkuus kasvaa myös monimetallilampuilla ja elohopealampuilla elektronisten liitântälaitteiden avulla. Suurpainenatrium-, monimetalli- ja elohopeavalaisimien valon väriin voi vaikuttaa käyttämällä elektronista liitântälaitetta, jolloin valo saadaan tilaan sopivaksi. (Halonen 1992, 300–304.)

4 Valaistuksen ylläpito

Valaistusta suunniteltaessa tulee myös huomioida, että kustannuksia aiheuttaa valaisimien kuluttama energia ja valaisimiin kohdistuvat huoltotoimenpiteet. Jotta valaistus toimii suunnittelulla tavalla, vaativat valaisimet huoltotoimenpiteitä ja korjauksia. Kunnollisella huollolla saadaan valaisimien pitoaikaa pidennettyä ja valaistustaso pidettyä suunnitellulla tasolla. Valaisinhankinnan jälkeen on lamput asennettava kattoon, joka on yksi kustannuserä valaisimen elinkaaren aikana.

4.1 Huolto

Yhtenä kulueränä valaistusta suunniteltaessa toimivat valaistuksen huoltotoimenpiteet. Valaistuksen hankintakustannukset ovat helppo määrittää, mutta ylläpito- ja kunnossapito kustannukset ovat hankalimmat määriteltävät valaistuksen pitoajalle. Valaisimiin tapahtuvia huoltoja ovat lampunvaihto, puhdistus ja lamppujen liitäntälaitteen vaihdot. Valaistusta suunniteltaessa tulee huomioida valaistuksen huoltoarvo, joka tarkoittaa kohteen valaistustaso pysyy minimissään mitoitetulla tasolla valaisimien käyttöjakson ajan. Jotta tähän päästään tulee valaisimia huoltaa riittävästi vaihtamalla lamppuja ja puhdistamalla valaisimia. Mitoittaessa valaistusta tulee huomioida valaisimien valotehon hiipuminen käyttötuntien kasvaessa ja valaisimien likaantumisen aiheuttaman valotehon laskun huomioiminen. Mitoittaessa valaistusta määritellään huoltojaksojen pituuden ja määrän käyttöajalle, sekä käyttää alenemakerrointa, joka ottaa huomioon valaistuksen ikääntymisen. Jos halutaan pidentää huoltojaksojen väliä, suunnittelija joutuu ylivoimittamaan valaistuksen pystyäkseen huomioimaan valotehon laskun lamppujen ikääntyessä. Ylivoimituksen takia energian kulutus kasvaa, jolloin valaistuksen uusimisesta saatavat energiansäästöt voi jäädä vähäisemmiksi. (Tiensuu 2010, 37-38.)

Useimmiten valaisimet, jotka rikkoontuvat ennen suunniteltua käyttöikää hajoavat aivan valaisimen elinkaaren alussa. Valaisimien puhdistus suositellaan CIE 97:2005 standardissa normaalisti likaantuville tiloille kahden vuoden puhdistus väliä. (ST 58.04 2017, 11.)

4.2 Valaistuskustannukset

Valaistuksen kustannukset voidaan jakaa kolmeen osaan koostuen käyttökustannuksista, kunnossapitokustannuksista ja rakennuskustannuksista. Käyttökustannukset koostuvat ainoastaan energiakustannuksista, mutta valaistuksessa energiakustannukset ovat useimmiten kustannuksista suurin. Energiakustannuksiin onneksi pystytään vaikuttamaan valaistuksen ohjauksilla ja mitoittamalla valaisimet teknistaloudellisesti optimoidusti kohteen mukaan. Käyttökustannuksissa on eniten säästettävää valaisinsuunnittelun osalta. Valaisimet vaativat huolto kuten aiemmassa kappaleessa on kerrottu, joten kunnossapitokustannuksia syntyy valaisimien käyttöaikana jonkun verran. Kunnossapito kustannuksia on hankala arvioida ja säästäminen on hankalaa verrattuna energiakustannuksiin. Rakennuskustannuksista suurin on kaapelointi ja valaisimen asennus. Itse valaisimen hankintahinta on pieni, mutta valaisimien energiankustannukset ovat suurin kuluerä valaistuksen käyttöaikana. Oikein suunniteltu valaistus vähentää valaisimien määrää, jolloin rakennuskustannuksetkin jäävät pienemmiksi. Kuitenkin valaisimen valinta on tärkein kohta, eikä valinnassa kuuluisi tinkiä. Koska vähillä rahoilla ei pidä ostaa halpaa. (Tiensuu 2010, 37–38.)

Valaisinhankinnassa suurin kustannus on investoinnit, koska yleensä uusin vähän energiaa kuluttava tekniikka on kalliimpaa kuin vanha enemmän energiaa kuluttava. Mutta kokonaiskustannuksissa vähemmän energiaa kuluttavat ratkaisut yleensä ovat halvempia, koska energiankulutus on valaistuksen suurin kuluerä. Valaistusstandardit SFS-EN-12464-1 ja SFS-EN-12464-2 vaativat energiankulutuksen pienentämiseksi, että valaistus on suunniteltava energiatehokkaalla tavalla. Valaistuksen energiatehokkuuteen vaikuttavat valaisimien hyötysuhde, käytettävät ohjaustavat, liitännälaitteiden energiatehokkuus ja päivänvalon hyödyntäminen valaistuksen kanssa. (ST 58.04 2017, 10-11.)

5 Valaistuksen ohjaus

Valaistuksen aiheuttamien energiakustannusten pienentämiseksi on kehitetty menetelmiä ohjata valaisimia. Yksinkertaisimmillaan valaisinohjataan pois päältä kun valaistavalla alueella ei ole liikettä tai on asetettu kellonaika, jonka jälkeen ei tarvita valaistusta päällä. Näiden ohjaustapojen rinnalle on myös kehitetty tietotekniikkaa hyödyntäviä digitaalisia ratkaisuja, joiden avulla pystytään valaistusta ohjaamaan yksinkertaisia menetelmiin verrattuna paljon monimutkaisimmin. led-tekniikan hyvä ohjattavuus on lisännyt valaistusohjauksen käyttöä eri tilanteissa.

5.1 Hämäräkytkin

Hämräkytkimen avulla valojen syttymistä voidaan ohjata ajankohdan valomäärän mukaisesti, jolloin valot eivät pala liian aurinkoisessa kelissä. Kytkimeen asetallaan valovoimakkuuden raja-arvo, minkä alle laskiessa kytkin ohjaa valot päälle. Hämräkytkintä käytetään usein ulko- ja pihavalauksen ohjaamiseen, jotta rakennuksen pihapiiri on aina riittävän valaistu kulkemisen turvaamiseksi. Samalla tavalla voidaan ohjata tehdasalueella harvoin käytössä olevien rakennuksien valaistusta. (Tiensuu 2010, 35.)

5.2 Liiketunnistin

Liiketunnistimilla valot syttyvät nimensä mukaisesti, kun liiketunnistimen tarkkailemalla alueella havaitaan liikettä. Liiketunnistimia valmistetaan eri havaitsemiskulmilla, jolloin valaisin voidaan ohjata päälle tarkasti halutulta alueelta tai vapaammin valaisimien ympäristöstä laajalta alueelta. Havaitsemiskulmaan vaikuttaa tila, johon liiketunnistin asennetaan. Liiketunnistimien haittana on valojen syttymisen ja sammumisen aiheuttama nopea valaistustason muutos. Mutta tätä voidaan estää valotasoa nostamalla liiketunnistimen havaitessa liikettä ja laskemalla valotasoa liikkujan ohitettua valon hitaasti. Myös eläinten aiheuttamat ylimääräiset lampun syttymiset

ovat ongelma, josta voidaan päästä eroon oikealla liiketunnistimen asennussijainnilla. Valaisinkohtaisia ohjaimissa on yhdistettynä useimmiten hämäräkytkin ja liiketunnistin valaisimen ohjaukseen. (Tiensuu 2010, 35.)

5.3 Kellokytkin

Kellokytkimellä voidaan asettaa valot päälle käyttäjän halumaksi ajaksi. Kellokytkimessä on sisäinen kello, joka asetetaan käyttäjän toimesta haluttuun aikaan. Käyttäjä myös asettelee haluamansa valaisimien käynnistys ajan, sekä valaisimien sammumisajan. Kellokytkimeen voidaan yhdistää hämäräkytkimeen, jolloin voidaan valot kytkeä pois päältä yöksi, mutta valaisimet kuitenkin syttyvät kun valaistustaso laskee hämäräkytkimeen asetetun raja-arvon alle. (Tiensuu 2010, 35.)

5.4 DALI-ohjausjärjestelmä

Valaistuksen ohjaukseen on kehitetty useita eri tapoja, mutta tällä hetkellä DALI on suosituin ohjaustapa. DALI on lyhenne sanoista Digital Addressable Lighting Interface. DALIn on digitaalinen tapa valaisimien elektronisten liitäntälaitteiden ohjaamiseksi ja sen on tarkoitus korvata analoginen valaistuksen ohjaus. DALI on kansainvälinen standardi, jonka avulla eri valmistajien valaisimet sopivat yhteen ohjattavaksi, kuitenkin valaisimien ohjaimet täytyvät olla samalta valmistajalta. DALI:ssa ei käytetä erityisiä datakaapeleita tiedonsiirtoon ja muutenkin standardi on pyritty pitämään mahdollisimman yksinkertaisena. DALIn avulla voidaan valaisimia ohjata yksittäin tai isompina ryhminä, myös useita ryhmiä voidaan ohjata yhtäaikaaisesti. Myöskään tiedonsiirrossa ei odotettavasti tapahdu häiriöitä yksinkertaisen tietorakenteen ansiosta. Myöskin saadaan tietoja lamppujen vioista, joko yksittäin tai ryhmän osalta. DALI on myös halvempi ratkaisu ja monipuolisempi lamppujen säätöjen osalta kuin 1-10V järjestelmä. DALI verkko voi rakentua enintään 64 toimilaitteesta, näistä muodostetusta 16 ryhmästä ja käyttötilanteita voidaan rakentaa 16 erilaista. (DALI AG 2001, 9-12.)

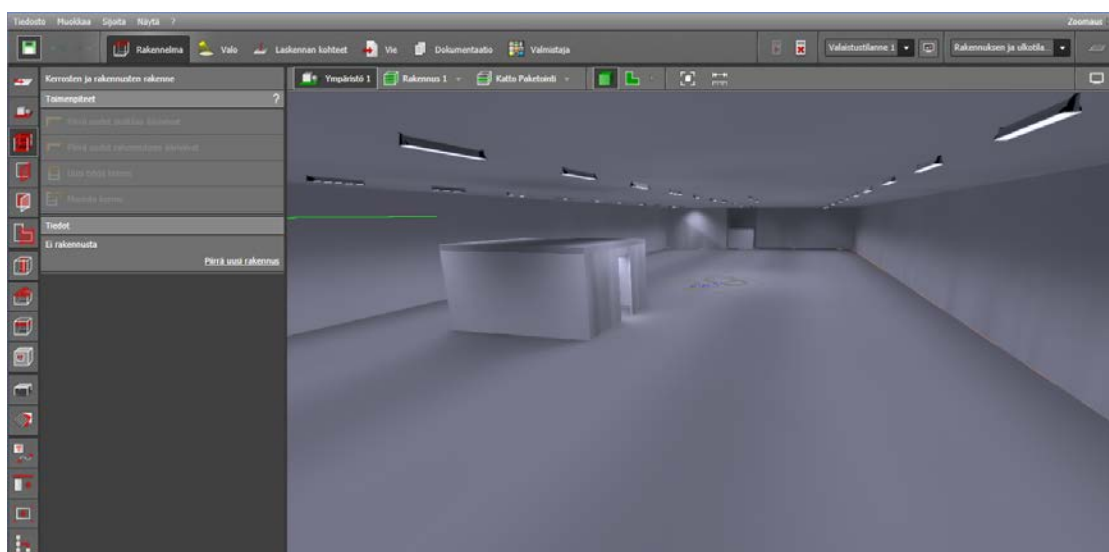
5.5 Analoginen 1-10V-ohjausjärjestelmä

Analoginen 1-10V – ohjaus on yksi tapa ohjata valaisimia. Suurin osa ohjattavista liitäntälaitteista ohjataan 1-10V tasajännitteellä standardin IEC 60929 määräämällä tavalla. Liitäntälaite yleensä itse luo ohjaukseen käytettävän ohjausvirran, joten liitäntälaitteen 1-10 V ohjaamiseksi tarvitaan helpoimmillaan ainoastaan potentiometri. Yleensä valmistajien ohjaimet sisältävät myös elektroniikkaa, jonka avulla pystytään huomioimaan kuorman suuruus sekä säädöstä saadaan elektroniikan avulla tasaisemman näköinen. Valaistuksen ohjaus on toiminnaltaan hyvin yksinkertainen, koska liitäntälaite mittaa ohjauspiirin napojen välistä jännitettä. Jännitteen laskiessa kohti 1 V valaistustaso laskee ja täysi valaistustaso saavutetaan napojen jännitteen ollessa 10 V. Jos analogista ohjausta ei haluta käyttää voidaan jättää ohjausvirtapiiri kytke-mättä, jolloin valaisin valaisee täysillä kuten ilman säätöä oleva valaisin. On myös mahdollista, että itse ohjain antaa ohjausvirran eikä liitäntälaite. Analoginen järjestelmä voidaan ottaa käyttöön helposti eikä ohjelmointia välttämättä tarvita. 1-10 V – ohjaus kytkemiseksi tarvitaan kaksi ohjausvirtapiirin johdinta vaihe-, nolla ja suoja-johtimen lisäksi. Kytkettäessä ohjausvirtapiirin johtimia tulee olla tarkkana johtimien napaisuuden suhteen. Vaihejohdin tulee myös kytkeä valaisimen ohjaimen kautta, jotta valaisin voidaan sammuttaa. Ohjaimen katkaisukyky riittää enintään 10 valaisimella, vaikka ohjaimella voidaan ohjata useaa kymmentä valaisinta. Analogista ohjausjärjestelmää miettiessä tulee huomioida kaapelien pituudesta aiheutuva resistanssin vaikutus, koska eri valaisimien kaapeleiden pituuserot aiheuttavat valaisimien loistamisen eri kirkkaudella. (Valaistussuunnittelija käsikirja. n.d., 513.)

6 DIALux-valaistuslaskentaohjelma

DIALux on ilmainen valaistussuunnitteluun tehty ohjelma, jota käytetään ammattilaisten toimesta suunnittelun tekemiseen. DIALux-ohjelman on valmistanut saksalainen DIAL yritys, mutta itse ohjelmasta löytyy suomenkielinen käyttöliittymä. DIALuxin avulla voidaan suunnitella, laskea ja havainnollistaa valaistuksia. Ohjelman avulla pystytään laatimaan näkymiä yksittäisistä huoneista, kokonasiin kerroksiin ja rakennuksiin, myös ulkotilojen ja teiden valaistussuunnitteluja. Dialuxin avulla pystytään esittämään asiakkaalle miltä kohde tulisi näyttämään valaistuksen osalta. Kuviosta 7

on nähtävissä DIALuxin käyttöliittymä ja miltä valaistussuunnittelu näyttää Dialux ohjelmalla. Ohjelmasta löytyy valmiiksi monen eri valmistajan tuoteluettelot. Moni valmistaja tarjoaa omilla nettisivuillaan valaisimistaan valonjakotiedostot, vaikka tiedostot eivät löydy suoraan ohjelmasta voidaan mallintaa halutuilla valaisimilla kohde käyttämällä valmistajien luomia tiedosoja. DIALux ohjelma on myös yhteensopiva muiden CAD-ohjelmien kanssa, joten DIALuxiin voidaan tuoda rakennuksen pohjapiirustus tai alueen asemakaava suoraan ja alkaa mallintamaan rakennuksia suoraan tuodun kuvan pohjalta. (DIALux evo –new calculation method n.d., 1-3.)



Kuvio 7. Mallikuva DIALux-ohjelmasta

7 Investointilaskelma

Investointi on tyypiltään joko rahoitus- tai reaali-investointi. Rahoitusinvestoinnissa ostetaan rahalla obligaatioita tai debenttuureja. Reaali-investoinnissa puolestaan hankitaan tuotantotekijöitä, jotta saavutetaan tuottoja. Oli investointi kumpaa tahansa tyyppiä tulee investoinnin olla kannattava. Jotta investointi on kannattava, tulee se suunnitella tarkasti. Suunnittelussa tulee ottaa huomioon edullisuuteen vaikuttavia asioita investoinnin perushankintakustannus, jäännösarvo, investoinnin vaatima aika ja käytetty laskentakorkokanta. Investointilaskelmia tehdessä tulee muistaa, että tu-

levaisuutta on hankalaa ennustaa. Joten investointilaskelma on paras arvaus kyseisenä ajankohtana, joka pyrkii ottamaan huomioon mahdollisimman paljon asioita. (Haverila, Uusi-Rauva, Kouri & Miettinen 2009, 195-197.)

Investointilaskelmia voi tehdä usealla eri tavalla, mutta viisi tunnetuinta tapaa on nykyarvomenetelmä, annuiteettimenetelmä, sisäisen korkokannan menetelmä, yksinkertaistettu sisäinen korkokannan menetelmä ja takaisinmaksuajan menetelmä. Pysyäkseen laskemaan laskelmia tulee selvittää joitain lähtötietoja. Ensimmäisenä on perushankintakustannus, joka sijoittuu investointiajankohdan alkuun ja on vähiten epävarma seikka investointikustannuksissa. Seuraavaksi tulee laskentakorkokanta, jonka ideana voidaan pitää tuottovaatimuksena suoritettavalle investoinnille. Myös laskentakorkoa käytettäessä saadaan eri ajankohdissa olevat suoritukset vertailukelpoisiksi, joka helpottaa pitkien investointien seuranta. Sen jälkeen arvioidaan juoksevasti syntyvät tuotot ja kustannukset, joita kertyy investoinnin ansiosta. Näiden erotusta kutsutaan nettotuotoiksi. Sitten tulee selvittää investointiajanjakso, joka tarkoittaa investoinnin pitoaikaa. Pitoaika on yleensä investoinnin taloudellinen pitoaika, mikä tarkoittaa ajanjaksoa jonka kuluessa on kehitetty taloudellisesti kannattavampi hyödyke. Viimeisenä tulee arvioida investoinnin jäännösarvo, joka tarkoittaa yksinkertaisesti hyödykkeen myyntiarvoa pitoajan lopussa. Usein jäännösarvo on nolla tai negatiivien eli joudutaan maksamaan päästäkseen hyödykkeestä eroon. (Haverila, ym. 2009, 198.)

7.1 Nykyarvomenetelmä

Nykyarvomenetelmässä investoinnista syntyvät kustannukset ja kulut diskontataan käyttäen haluttua laskentakorkokantaa. Tätä menetelmää käytettäessä investointi on kannattava, jos nykyarvo on positiivinen. Näin ollen investoinnin perushankinnasta aiheutuvat kustannukset ovat pienemmät kuin investoinnin nettotuottojen nykyarvo jäännösarvo huomioiden. Nykyarvomenetelmää käytettäessä tulee muistaa, jos investoinnin pitoaika on pitkä kustannusten ja tuottojen ennustaminen on hankalampaa. (Haverila ym. 2009, 202.)

7.2 Takaisinmaksuajanmenetelmä

Takaisinmaksuajanmenetelmää käyttäessä tarkastellaan, kuinka kauan kestää että investoinnista syntyvät nettotuotot ylittävät investoinnista aiheutuvat perushankintakustannukset. Tämä menetelmä on hyvin yksinkertainen ja näin ollen yleisesti käytetty tapa tarkastella investoinnin järkevyyttä. Menetelmä on järkevää käyttää, jos tuottojen määrä on vaikeaa ennustaa pitkän ajan kuluessa. Takaisinmaksuajanmenetelmä on yksi hyvä valintakriteeri muiden menetelmien kanssa käytettäväksi. (Haverila ym. 2009, 206.)

8 Tehtaan valaistus

8.1 Nykyinen valaistus

Opinnäytetyö aloitettiin kartoittamalla tehtaan valaistus, jotta sitä voitiin vertailla suunniteltuun valaistukseen. Nykyinen valaistus on toteutettu käyttäen rakennuksien rakennusajankohtana toimivimpia ja kannattavimpia ratkaisuja. Tämän takia valaistus on hyvin erilaista eri paikoissa riippuen rakennuksen iästä. Tällä hetkellä tehdasalueella on käytössä loisteputki-, elohopea-, suurpainenatrium- ja monimetallivalaisimia.

Tehtaan nykyinen valaistus on siis peräisin rakennuksien rakennusvuosilta eli vanhimmat valaisimet ovat 1980-luvun alusta ja uusimmat ovat 2010-luvulta. Tällä hetkellä tehdashalleissa valaistus on toteutettu käyttäen 2 x 36 W:n ja 2 x 58 W:n loisteputkia. Loisteputket ovat tyypiltään T8-mallia. Kuviossa 8 on nähtävissä loisteputkivalaisimia, joita käytetään valonlähteinä tehdashalleissa. Halleihin on kuitenkin lisätty monimetalli- ja elohopeavalaisimia valaistustason parantamiseksi haluttuihin kohtiin. Varastoissa on käytössä puolestaan monimetalli-, suurpainenatrium ja elohopeavalaisimia, joiden tehot ovat 75-250 W. Ulkovalaistuksessa on käytössä samanlaisia valaisimia kuin varastoissa, tehot ovat 150-400 W.



Kuvio 8. Tehdashallin nykyinen valaistus

Nykyinen valaistus on kunnoltaan hyvin vaihtelevaa, koska vanhimpien valaisimien rungot ovat iältään lähes 40 vuotta vanhoja. Loisteputkien ongelmana on iän tuoma hauraus, jolloin uusia putkia vaihdettaessa putkenpitimet murtuvat hauraudesta. Aikoinaan loisteputkien pitoajaksi määriteltiin 15 vuotta, mutta vanhimmissa rakennuksissa valaisimien pitoaika on jo yli kaksinkertainen suunniteltuun nähden. Tehdasalueella on myös rikkiäisiä valaisimia, ja joltain alueilta valaistus puuttuu. Valaistuksen puutteet aiheuttavat työturvallisuusriskejä sekä heikentävät työhyvinvointia. Nykyistä valaistusta ohjataan ulkovalaistuksen osalta hämäräkytkimillä, ja osittain kellokytkimellä. Tehdashalleissa ja varastoissa valaistuksen ohjataan ainoastaan ON-OFF kytkimillä.



Kuvio 9. Varaston nykyinen valaistus

Tehtaan valaistus on myös valaistusvoimakkuuden osalta standardien vaatimuksia huonompi. Valaistusvoimakkuuden vähyden takia myös työntekijöiden työtapaturmariski on korkeampi ja työtehokkuus laskee. Kartoittaessa tehtaan valaistusta työntekijät valittelivat nykyisen valaistuksen puutteita. Kuviossa 9 on nähtävissä yhden varaston valaistuksen huono sijoitus ja tehokkuus. Varastoitavat tuotteet sijaitsevat hallin reunoilla, jonne varaston keskellä olevat valaisimet eivät tuota valoa riittävästi. Varaston suurin valonlähde aurinkoisena päivänä on oviaukosta tuleva valo.

Tehtaan nykyisen valaistuksen selvittämiseksi jouduttiin rakennukset ja ulkoalueet kartoittamaan kiertämällä, koska tehtaan dokumenteista ei löytynyt valaisimien sijoituspiirustuksia. Tällä hetkellä tehdasalueella on käytössä yhteensä 453 kappaletta valaisimia, jotka on tarkoitus uusia. Kartoituksesta jätettiin pois tehtaan taukotilat, konttorirakennukset, sahalaitos ja lämpölaitos. Osassa varastoja ei ollut valaisimia ollenkaan, mutta mahdollisuus sähköjen vetämiseen ja valaisimien asentamiseen oli olemassa. Tehtaan valaistuksen kokonaistehoksi kartoitettiin 82,4 kW, johon on huomioitu arvioitu liitälaitteiden ottama teho 20 % valaisimien tehosta.

Tehtaan energiankulutuksen laskemiseksi tuli arvioida myös valaisimien käyttöajat. Tehtaassa työskennellään tällä hetkellä yhdessä vuorossa, joten tehdashallien ja varastojen käyttöaika on 10 tuntia päivässä, 200 päivänä vuodessa. Yhteensä käyttöaika on 2 000 tuntia vuodessa. Ulkovalaistuksen osalta tehtaan käytönjohtaja antoi laskennassa käytettäväksi käyttöajaksi 3 200 tuntia vuodessa. Kun tiedetään kokonaisteho ja käyttötunnit, voidaan laskea vuosittainen energiankulutus. Energiakustannuksien laskemiseksi tarvitaan tehtaan maksama sähköhinta, joka tässä tapauksessa on 11 snt/kWh. Näin saadaan ylläolevien tietojen perusteella laskettua vuotuiset energiakustannukset. Nykyisellä valaistuksella energiakustannukset ovat laskennallisesti 20 656 € vuodessa.

Kustannuksia nykyiseen valaistukseen tulee myös valaisimien huolloista. Tehtaan sähkömies arvioi huoltotöihin kuluvan 10 työpäivää vuodesta ja uusiin valaisimiin menee 2 000 € vuodessa. Sähkömiehen tuntipalkaksi kaikkine kustannuksineen arviointiin 25 €/h, jolloin valaistuksen huoltokustannukset ovat taulukon 1 mukaiset vuosittain. Tuntikustannus sähkömiehen osalta kattaa kaikki työnantajan kulut.

Taulukko 1. Nykyisen valaistuksen vuosittaiset ylläpitokustannukset

Ylläpitokustannukset nykyinen		
Sähkömiehen palkka	25	€/h
Työtunnit	60	h
Kustannukset	1500	€
Uudet valaisimet	2000	€
Ylläpitokustannukset	3500	€

8.2 Uusi valaistus

Toimeksiantaja asetti uudelle valaistukselle ehtoja. Uuden valaistuksen tulee täyttää standardien vaatimukset. Myös uuden valaistuksen takaisinmaksuajan tulisi olla alle seitsemän vuotta, jotta investointi on kannattava. Valaistuksen tulee olla ohjattavissa ulkovalaistuksen ja varastojen osalta. Tehdashalleihin ei asetettu ohjausvaatimusta, koska halleissa työskennellään koko työajan eri puolilla hallia eikä ohjauksella saavu-

teta tarvittavaa hyötyä. Uusien valaisimien lisäksi tehtaassa uusitaan myös valaistuksen kaapelointi, koska nykyisen kaapeloinnin kunto on huono. Yhdessä tilassa on jouduttu uusimaan valaisimet ja kaapeloinnit tulipaloriskin vuoksi.

Valaisinmäärä nousi jonkun verran suunnitelmien mukaisessa valaistuksessa. Nykyisellä valaistuksella valaisinmäärä on 453 kappaletta ja suunnitellulla uudella valaistuksella 526 kappaletta. Taulukosta 2 on nähtävissä valittujen valaisimien tehot, määrät ja ohjaustarve. Tehdashalleihin uusiksi valaisimiksi valittiin 29 W:n ja 76 W:n tehoisia valaisimia, jotka korvaavat nykyiset 2 x 36 W:n ja 2 x 58 W:n loisteputket. Tehdashalleihin valittiin myös 84 W:n valaisimia korvaamaan nykyisiä suurpainenatriumvalaisimia. Valovirraltaan uudet valaisimet ovat tehokkaampia, joten valaisimien valon tuotto on suurempi vaikka tehontarve on pienempi verrattuna nykyiseen valaistukseen. Varastoihin valittiin kolme eritehoista valaisinta, koska tilojen korkeudet vaihtelevat viidestä metristä aina kymmeneen metriin. Matalampiin varastoihin mallinnettiin 69 W:n valaisimet, jotka korvaat nykyiset monimetallivalaisimet. Yhteen varastoon suunniteltiin 84 W:n valaisimet, koska tehokkaammat valaisimet eivät olisi antaneet riittävää hyötyä energiankulutukseen nähden ja pienempi tehoiset eivät olisi valaisseet tarpeeksi varastoa. Korkeisiin varastoihin puolestaan valittiin 127 W:n valaisimet, jotka tuovat energiansäästön ohjauksen avulla. Nykyiset 250 W:n suurpainenatriumvalaisimet palavat tällä hetkellä koko päivän oli varastoissa liikettä tai ei. Varastojen valaisimet myös suunnataan nykyistä valaistusta paremmin, jolloin saadaan valo sinne, mihin sitä tarvitaan työn tekemiseksi. Ulkovalaisimiksi mallinnettiin 125 W:n valaisimet, jotka hyödyntävät DALI-ohjausta. Ulkovalaistuksen osalta valaisinmäärä nousi vanhaan verrattuna, koska nykyinen valaistus ei kata koko aluetta riittävällä tavalla. Ohjauksen avulla saadaan myös merkittävät säästöt, koska ulkoalueet ovat laajat ja alueilla liikutaan enimmäkseen työkoneilla. Liitteestä 1 ovat nähtävissä ohjauksesta ja antureista aiheutuvat kustannukset.

Taulukko 2. Uuden valaistuksen tehot ja kappalemäärät

Pos.	Teho (W)	KPL	Tila	Muuta
LED 1	29 W	50	Tehdashallit	
LED 2	69 W	67	Varastot	Himmennettävä, DALI -ohjaus
LED 3	76 W	173	Tehdashallit	
LED 4	84 W	47	Tehdashallit	
LED 5	84 W	29	Varastot	Himmennettävä, DALI -ohjaus
LED 6	127 W	60	Varastot	Himmennettävä, DALI -ohjaus
LED 7	125 W	100	Ulkoalueet	Himmennettävä, DALI -ohjaus
	Yhteensä	526		

Vaikka talotehtaan valaisinmäärä kasvaa kokonaisuudessaan, valaistuksen ottama teho kuitenkin pienenee ilman ohjaustakin. Taulukosta 3 on nähtävissä, kuinka jokaisella osa-alueella valaistuksen tehon tarve pienenee jopa ohjausta huomioimatta. Tehdashalleissa valaistuksen ottama teho pienenee jopa yli puoleen. Merkittäväksi tämän eron tekee se, että uutta eikä vanhaa valaistusta ei tehdashalleissa ohjata, joten rahallinen säästö saavutetaan ainoastaan pienemmällä tehon tarpeella. Varastoissa ja ulkoalueilla säästöjä saadaan pienemmän tehontarpeen lisäksi suurimmilta osin valaistuksen ohjauksen avulla. Valaistuksen kokonaistehontarve putoaa lähes puoleen nykyiseen verrattuna ilman ohjausta.

Taulukko 3. Nykyisen ja suunnitellun valaistuksen tehonkulutukset

Nykyinen valaistus			Uusi valaistus		Ero	%
Teho hallit	38,37	kW	18,343	kW	20,0258	52 %
Teho varastot	24,93	kW	14,882	kW	10,0528	40 %
Teho ulkoalueet	19,12	kW	12,375	kW	6,741	35 %
Kokonaisteho	82,42	kW	45,6	kW	36,8196	45 %

Valaistuksen ohjauksessa ulkovalaistuksen ja varastojen osalta päädyttiin käyttämään DALI-ohjausjärjestelmää, joten uusien valaisimien tulee olla ohjattavissa DALI-

järjestelmällä. Tehdashalleissa ei ollut tarvetta ohjaukselle, joten halleihin valittiin valaisimet ilman DALI-ohjausta. DALI-ohjaus lisää valaisimien hintoja, joten ilman ohjausta DALI yhteensopivia valaisimia ei kannata hankkia. Jotta valaisimia voidaan ohjata, tulee hankkia valaisinkohtainen ohjain. Valaisinkohtainen ohjaus lisää myös investointikustannuksia. Toimeksiantaja toiveesta laskenta toteutettiin tarkastelemalla investointikustannuksia kolmella eri mallilla: ilman ohjausta, ulkovaloja ohjataan, sekä ulkovaloja ja varastojen valoja ohjataan. Investointilaskelmissa käytettiin jokaisessa tapauksessa samanlaisia valaisimia, joten ilman ohjausta ei saatu DALIsta hyötyä ja jouduttiin maksamaan kalliimpi hinta. Valaisinkohtainen ohjain vaatii myös ohjelmoinnin, mutta valaisinkohtaisten ohjaimien avulla vältetään ohjauskaapelien vetämiseltä. Taulukosta 2 on nähtävissä DALI –ohjausta hyödyntävien valaisimien määrän olevan 256 eli lähes puolia valaisimista tullaan ohjaamaan. Etenkin ulkovalaisimet hyötyvät suuresti ohjauksesta. Myös varastoissa on hyötyä, koska tällä hetkellä valaistus on toteutettu On-Off-kytkimillä ja valot sammutetaan, jos käyttäjä muistaa, joten huonossa tilanteessa valaisimet voivat olla läpi yön päällä. Ohjauksen avulla valaisimet eivät pala turhaan, joten saavutetaan energiansäästöä sekä valaisimien käyttöikä kasvaa turhan polttamisen vähentyessä minimiin.

Standardi SFS 12464-1 määrittelee varastoihin taulukon 4 mukaisesti valaistustasoksi 100 lx ja 200 lx työskentelyn ollessa jatkuvaa. Talotehtaalla varastoista yksi on ainoastaan jatkuvassa käytössä ja muut ovat vain satunnaisessa käytössä. Nykyinen valaistus täyttää varastoissa standardin vaatimukset enimmäkseen ja puuttuva valaistus tuotetaan yleensä työkoneiden valoilla. Uusi valaistus on toteutettu täyttämään vaatimukset ja mietitty toimeksiantajan toiveiden mukaiseksi.

Taulukko 4. Standardin 12464-1 vaatimukset varastoille (SFS 12464-1:2011, 38)

Yleiset tila rakennusten sisällä - Varastot, kylmät varastot					
Tilan käyttötarkoitus	Em/lx	UGR _L	U ₀	Ra	Lisävaatimukset
Varastotilat	100	25	0,4	60	200 lx, jos työskentely on jatkuvaa
Lähetämö- käsittelyhuoneet	300	25	0,6	40	

Standardi EN 12464-2 määrittelee ulkoalueille taulukon 5 mukaisesti 50 lx valaistustason. Ulkoalueilla työskentely tapahtuu pääsääntöisesti työkoneilla, kuitenkin työntekijät liikkuvat hallista toiseen satunnaisesti. Rekkojen lastaus tapahtuu ulkona ja nykyisellä valaistuksella sahatavaran lastaus tapahtuu työkoneiden valojen avulla ulkoalueiden valonheittimiä vähän hyödyntäen. Paremmalla valaisinten asettelulla voitaisiin vähentää työkoneiden kautta saatavaa valaistusta. Myös nykyisellään ulkoalueiden valaistus on hajanaista keskittyen enimmäkseen rakennusten ulkoseinille. Tällä hetkellä valaistukseen jää pimeitä kohtia, jotka ovat riski työntekijöille työkoneiden liikkeessa alueella. Uudessa valaistuksessa lisätään ulkovalaistuksen määrää, jotta saadaan kulkureitit valaistua riittävälle tasolle. Myös lastausta helpottamaan valaisimia mallinnettiin sellaisten rakennusten seiniin, jossa nykyisellään ei ole valoja asennettuna.

Taulukko 5. Standardin 12464-2 asettamat vaatimukset ulkovalaistustasoille (SFS 12464-1:2014, 16)

Ulkotyöskentelyalueet, sekä alueet joissa siivotaan					
Tilan käyttötarkoitus	Em/lx	GR _L	U ₀	Ra	Lisävaatimukset
Alueet, joissa liikkuminen tapahtuu vain jalan	5	50	0,25	20	
Hitaasti liikennöidy alueet (Max 10 km/h)	10	50	0,4	20	
Normaali ajoneuvoliikenne (Max 40 km/h)	20	45	0,4	20	Telakoilla ja satama-alueilla GR _L voi olla 50
Jalkakäytävät, ajoneuvojen kääntöpaikat ja lastausalueet	50	50	0,4	20	
Siivous ja huolto	50	50	0,25	20	Kaikilla vallitsevilla pinnoilla

Standardi SFS 12464-1 määrittelee myös puuteollisuuden tarvitsemat valaistusvaatimukset taulukon 6 mukaisesti. Tehdashalleissa tapahtuu enimmäkseen kokoonpanoa, jonka valaistustason vaatimuksena on 300 lx, mutta puutyöstökoneilla työskentelyä ja maalausta suoritetaan tehdashalleissa. Nykyinen valaistus on etenkin puun-työstökoneilla ja maalauksessa heikkoa, joka uuden valaistuksen suunnittelussa päivitetään standardin vaatimusten mukaiseksi. Kokoonpanon osalta nykyinen valaistus vaihtelee 150 – 225 lx välillä, joten kokoonpanossa tällä hetkellä jäädyään standardien vaatimuksista. Uudessa valaistuksessa tehdashallien valaistus taso nostetaan 300 lx

kokoonpanolinjoilla ja työpisteiden sivussa, jossa liikutaan trukeilla eikä työskentelyä tapahdu lasketaan valaistustasoksi 250 lx. Nostamalla uusi valaistus standardien vaatimalle tasolle työnteon turvallisuuden ja työmukavuuden pitäisi parantua, mikä laskee työtapaturmia ja sairaspotensiaaleja. Valaistuksen uusimisella parannetaan yrityksen toimintaa työntekijöiden työympäristön paranemisen myötä.

Taulukko 6. Standardin 12464-1 asettamat vaatimukset puunkäsittelyä tekeville tiloille (SFS 12464-1:2011, 52)

Teollisuus ja käsityö - Puutyö ja puunkäsittely					
Tilan käyttötarkoitus	Em/lx	UGR _L	U ₀	R _a	Lisävaatimukset
Automatisoidut prosessit	50	28	0,4	40	
Höyryttämöt	150	28	0,4	40	
Saha	300	25	0,6	60	Stroboskooppi-ilmiö vältettävä
Höyläpenkki, liimaus, kokoonpano	300	25	0,6	80	
Kiillotus, maalaus, erikoispuusepäntö	750	22	0,7	80	
Työskentely puuntyöstökoneilla	500	19	0,6	80	Stroboskooppi-ilmiö vältettävä
Puuvilujen valikointi	750	22	0,7	90	4 000 K < T _{CP} < 6 500 K
Upotustyö, upotuskoristelu	750	22	0,7	90	4 000 K < T _{CP} < 6 500 K
Laaduntarkkailu, tarkastus	1 000	19	0,7	90	4 000 K < T _{CP} < 6 500 K

Vanhan valaistuksen purkaminen aiheuttaa kustannuksia, kuten myös uusien valaisimien asentaminen. Laskelmissa arvioitiin tehtaan sähkömiehen vaihtavan yhden valaisimen tunnissa uuteen, samassa on huomioituna myös uuden kaapeloinnin asentamisen viemä aika. Etenkin valaisinkohtaisien ohjaimien asentaminen pienentää kokonaiskustannuksia, koska valaistuksen ohjaukseen ei tarvitse varata erillistä kaapelia. Uusi valaistus suunnitellaan asennettavaksi järkevämmiin työpisteiden päälle, jolloin linjastot saavat tarvittavan valaistuksen. Tämän seurauksena tehtaaseen tarvitaan uusia kannattimia valaisimille joihinkin tiloihin. Samalla pysytään pitämään vanha valaistus käytössä uusien valaisimien asennuksen ajan, jolloin tehtaaseen ei synny käyttökatoja valaisinremontin seurauksena.

Uuden valaistuksen huoltokustannukset takaisinmaksuajalta ajatellaan olevan pienet, koska valituissa valaisimissa on viiden takuu. Kuitenkin valaisimia hajoaa eniten en-

simmäisten vuosien aikana, joten laskelmissa on huomioitu vaihtoon menevät työtunnit kuluiksi. Valaisimien elinikä on arviolta 80 000 tuntia ja tehtaassa pidetään valaisimia päällä 2 000 tuntia vuodessa, jolloin valaisimien eliniäksi tulee 40 vuotta. Varastoissa elinikä tulee olemaan vielä pidempi, koska ohjausten avulla valaisimien käyttötunnit putoavat. Valaistuksen pitoajaksi määriteltiin 30 vuotta, joten tällä hetkellä valasimien vaihdoista ei pitäisi koitua suuria kuluja pitoajalle. Suurin huoltokustannus on valaisimien puhdistamisesta aiheutuvat kulut, sekä yksittäisten hajonneiden valaisimien vaihtaminen.

9 Uuden valaistuksen investointilaskelmat

Toimeksiantaja halusi investointilaskelmia kolmesta eri tilanteesta ilman ohjausta, ulkovalojen ohjauksella sekä ulkovalojen ja varastojen ohjauksella. Jotta nämä laskelmat voitiin suorittaa, tuli määritellä tehtaan maksamalle sähkölle hinta, jonka arvioitiin olevan 0,11 snt/kWh. Sähkön hinnan oletettiin pysyvän samana hankinnan koko takaisinmaksuajan. Tehtaan nykyisten valojen oletettiin palavan 2 000 tuntia vuodessa varastojen ja hallien osalta. Ulkovalaistuksen arvoitiin olevan päällä 3200 tuntia vuodessa. Toimeksiantajan kanssa arvioitiin valaistuksen ohjauksella saatavan säästön olevan 80 prosenttia. Taulukosta 7 nähdään valaisimien kappalehinta, määrä ja kokonaishinta. Valaisimien määrä on sama jokaisessa valaistushankinnassa, mutta ohjauksen myötä kustannuksia tulee myös valaisimienohjaimista ja liiketunnistimista.

Taulukko 7. Valaisimien hinnat ja kokonaiskustannus valaistuksen osalta

MALLI	TEHO	HINTA		MÄÄRÄ		KOKONAISHINTA	
LED 1	29 W	98	€/kpl	50	kpl	4 900	€
LED 2	69 W	128	€/kpl	67	kpl	8 576	€
LED 3	76 W	128	€/kpl	173	kpl	22 144	€
LED 4	84 W	150	€/kpl	47	kpl	7 050	€
LED 5	84 W	165	€/kpl	29	kpl	4 785	€
LED 6	127 W	203	€/kpl	60	kpl	12 180	€
LED 7	78 W	566	€/kpl	100	kpl	56 600	€
		YHTEENSÄ		525	kpl	116 235	€

Valaistuksen purkaminen ja asentaminen aiheuttaa myös kustannuksia investointiin. Tehtaan oma sähkömies suorittaa asennukset, joten erillistä urakointiyritystä ei tarvita suorittamaan asennusta. Omaa sähkömiestä käyttäessä kustannukset määräytyvät työntekijän palkan ja työhön käytettyjen tuntien mukaan. Tehtaan kaapelointi joudutaan uusimaan ja uusien kaapelien hinta on nähtävissä taulukosta 8. Uudet valaisimet tullaan asentamaan eri kohtiin kuin vanhat, joten myös valaisinkiskoja joudutaan hankkimaan. Kaapeloinnin ja kiskojen asennukseen kuluvat työtunnit ovat otettu huomioon kuluissa työtunneissa. Myös antureiden ja ohjaimien asennuksesta koituvat työt ovat laskettu suoraan kuluviin työtunteihin.

Taulukko 8. Uuden valaistuksen purku- ja asennuskustannukset ilman ohjausta

Purku- ja asennuskustannukset		
Sähkömiehen palkka	25	€/h
Työtunnit	351	h
Kaapelit	4269	€
Valaisinkiskot	3500	€
Purku- ja asennuskustannukset	16535	€

Säästöjä uudessa valaistuksessa verrattuna vanhaan valaistukseen syntyy ylläpitokustannuksissa. Vanhojen valaisimien lamppuja joudutaan uusimaan, sekä joudutaan hankkimaan hajonneiden valaisimien tilalle uusia. Uudella valaistuksella oletetaan, että hajonneet valaisimet saadaan takuun alaisuudessa vaihdettua ja ainoa syntyvä kustannus on valaisimien vaihtamiseen kuluvat työtunnit. Uusien valaisimien takuu on 5 vuotta, joten seitsemän vuoden aikana ei tarvitse uusia valaisimia vielä hankkia takaisinmaksuajan puitteissa. Taulukosta 9 nähdään erotellusti vanhan ja uuden valaistuksen aiheuttamat kustannukset.

Taulukko 9. Nykyisen ja uuden valaistuksen ylläpitokustannukset

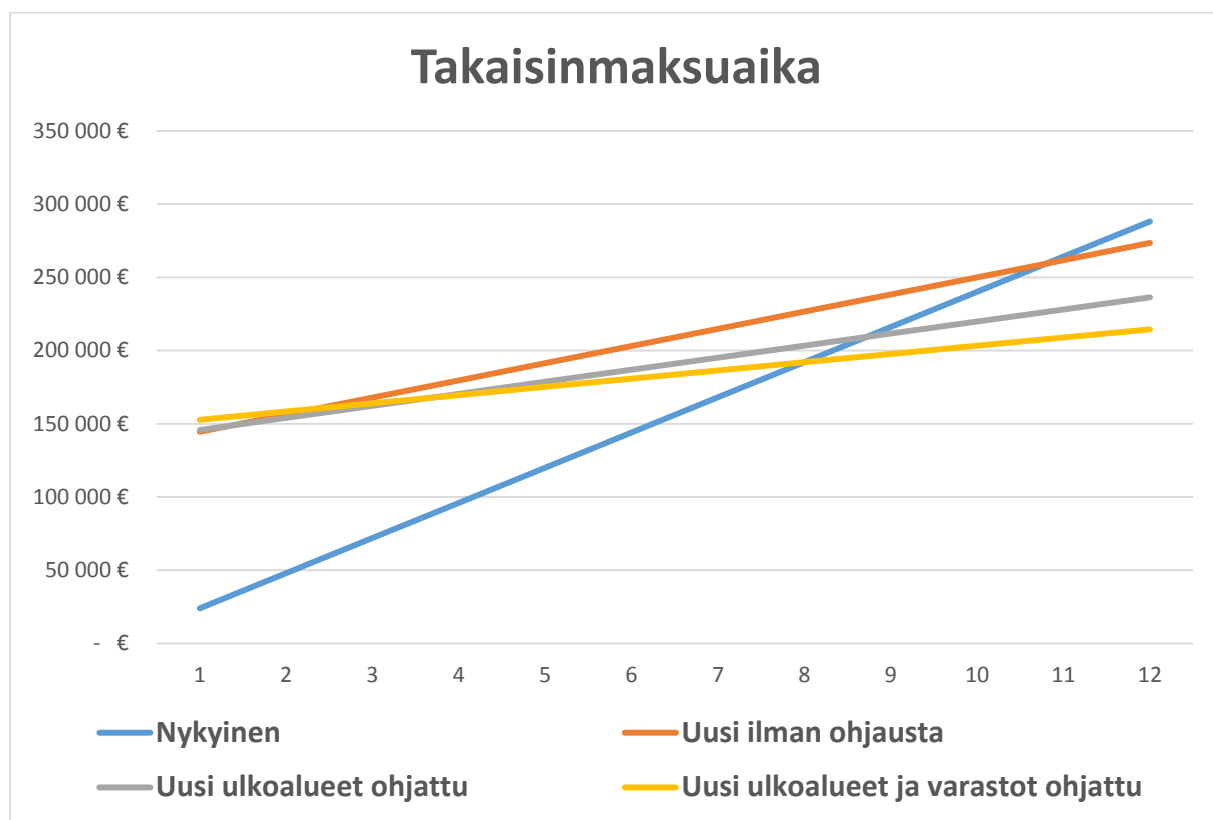
Ylläpitokustannukset nykyinen valaistus			Ylläpitokustannukset uusi valaistus		
Sähkömiehen palkka	25	€/h	Sähkömiehen palkka	25	€/h
Työtunnit	60	h	Työtunnit	2	h
Kustannukset	1500	€	Kustannukset	50	€
Uudet valaisimet	2000	€	Uudet valaisimet	0	€
Ylläpitokustannukset	3500	€	Ylläpitokustannukset	50	€

Ylläpitokustannuksia suuremmat säästöt syntyvät energiakustannuksien pienenemisen myötä. Taulukon 10 mukaisesti jo ilman ohjausta uusi valaistus on lähes puolet halvempi. Ulkovalojen ohjauksen avulla saadaan energiansäästöä kasvatettua. Kun vielä varastojen valaistus ohjataan, niin kustannukset putoavat melkein neljännekseen. Näin ollen valaistuksen ohjauksen vähän suuremmalla investointikustannuksella saadaan huomattavat säästöt ja hankinta maksaa itsensä takaisin nopeammin kuin ilman ohjausta. Uutta valaistusta ei kannata hankkia ilman ohjausta, koska valaisimien hinta ei ole merkittävästi kalliimpi ohjauksen kanssa. Taulukon 10 olevat rahamäärät saadaan laskettua suoraan sähkönhinnan, valaisimien käyttötuntien ja valaisimien tehon avulla. Ohjauksen avulla saatava energiansäästö arvioitiin toimeksiantajan kanssa olevan 80 %.

Taulukko 10. Valaistuksen energiakustannukset

	Nykyinen valaistus		Uusi valaistus ilman ohjausta		Uusi valaistus ulkovalot ohjattu		Uusi valaistus ulkovalot ja varastot ohjattu	
Kustannus hallit	8 441	€	4 035	€	4 035	€	4 035	€
Kustannus varastot	5 486	€	3 274	€	3 274	€	655	€
Kustannus ulkoalueet	6 729	€	4 356	€	871	€	871	€
Valaistuskustannukset	20 656	€	11 666	€	8 181	€	5 561	€

Takaisinmaksuaika saadaan laskettua kun tiedetään uuden valaistuksen säästöt verrattuna nykyiseen valaistukseen ja jaetaan uuden valaistuksen investointikustannuksilla. Kuviosta 10 nähdään kuinka uuden valaistuksen eri vaihtoehtojen hankintakustannukset ovat lähes samat, mutta pitkällä aikavälillä kustannuksissa syntyy eroja. Takaisinmaksuaika luetaan kuviosta katsomalla milloin sininen viiva leikkaa jonkin muista viivoista, jonka jälkeen sinisen viivan alapuolella olevat ratkaisut tulevat halvemmiksi. Investoinnin takaisinmaksuaika on kahdeksan ja kahdentoista vuoden välillä. Joten toimeksiantajan alle seitsemän vuoden takaisinmaksuaika ei täyty millään vaihtoehdolla, mutta uusitun valaistuksen tuomat työhyvinvointia parantavat tuotot eivät tule ilmi suoraan takaisinmaksuajasta. Takaisinmaksuajan venyminen kahdeksaan vuoteen johtuu nykyisen valaistuksen puutteiden täyttämisestä, jonka takia valaisimia jouduttiin lisäämään kaikkiin alueen rakennuksiin ja ulkovalaistukseen.



Kuvio 10. Valaistusmallien takaisinmaksuajat

Liitteestä 1 löytyy tarkemmin eroteltuna investointilaskelmat. Investointilaskelmista nähdään tarkasti, minkä verran on suunniteltu menevän rahaa eri vaiheisiin.

10 Pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä investointilaskelmat, joista selviää onko valaistushankinta kannattava yritykselle. Työn tuloksena saatiin kattavat investointilaskelmat yritykselle valaistuksen uusimisen osalta. Samalla yritys sai käyttöönsä DIALux-mallit kohteesta, minkä avulla voidaan tehdä valaistuslaskelmat erilaisille valaisinvaihtoehtoille tarvittaessa.

Työ täytti toimeksiantajan asettaman vaatimuksen suunnitella uusi valaistus, joka täyttää standardin SFS 12464 asettamat vaatimukset. Myös investointilaskelmat toteutettiin toimeksiantajan toiveiden mukaisesti eli laskettiin valaistukselle takaisinmaksuaika kolmella eri valaistuksen ohjaustasolla. Ainoastaan yrityksen haluamaan seitsemän vuoden takaisinmaksu-aikaan ei päästy, mutta uuden valaistuksen tuomat hyödyt olivat toimeksiantajan mieleen. Etenkin työpisteiden valaistustason nousun myötä voidaan olettaa työturvallisuuden ja työmukavuuden kasvavan. Tällaiset positiiviset vaikutukset eivät tule ilmi investointilaskelmissa vaan ajan myötä yrityksen toiminnassa.

Työn tietoperustassa käytettyjä lähteitä voidaan pitää luotettavina, koska lähteinä käytettyjä kirjoja käytetään opetuksessa ja internetlähteet ovat virastojen ja valmistajien laatimia dokumentteja. Työssä on käytetty standardien tietoja, joita voidaan pitää hyvin luotettavina. Lähteenä työssä on käytetty myös Sähkötieto ry:n valmistamia ST-kortteja, jotka on tehty standardien pohjalta ja sisältävät luotettavaa tietoa.

Työn investointilaskelmat toteutettiin siten, että saman laskentapohjan avulla voidaan tarkastella investoinnin avulla saatavia säästöjä muuttamalla lähtöarvoja. Myös tehtaan rakennuksista tehtyjen DIALux-mallien avulla voidaan tarkastella erilaisia valaisimia rakennuksiin, jos yritys haluaa vertailla erilaisten valaisimien välillä.

Jatkotutkimuksena työhön voisi tutkia tehtaan kaapeleiden jännitehäviöistä johtuvaa energiankulutusta ja tarkastella lähemmin työpisteen valaistustason vaikutusta työhyvinvointiin. Valaisimien energiankulutusta voisi tutkia tarkemmin, koska tässä työssä tarkasteltiin vain valaistuksen ottamaa tehoa valaisimien tehollisista arvoista. Valaisimien liitäntälaitteiden ottama teho on vain arvioitu kertoimen avulla, mutta

mittauksilla saisi laskelmat vastaamaan todellisuutta vielä tarkemmin. Investointilaskelma sisältää paljon ennustuksia, jotka voisivat tarvita lähempää tarkastelua muutoksien vaikutuksesta takaisinmaksuaikaan. Ainakin sähkönhinta ja huoltokustannukset ovat arviota eikä koskaan voi olla varma millaisista summista puhutaan seitsemän vuoden kuluttua. Valaistuksen vaikutusta työhyvinvointiin voisi tutkia myös tarkemmin.

Tällä hetkellä ledit kehittyvät nopeasti, joten seurauksena ledien kuluttama teho samaan valomäärän tuottamiseen pienenee. Tämän ansiosta työssä esitellyt valaisimäärät mahdollisesti pienenisivät ja takaisinmaksuaika voisi nopeutua. Tällöin voisi olla mahdollista päästä toimeksiantajan tavoittelemaan seitsemän vuoden takaisinmaksuaikaan. Mutta tekniikka kehittyy koko ajan ja jossain kohdin pitää yrityksen toteuttaa investointi eikä voida odottaa ikuisesti parempaa tekniikkaa. Nykyisen valaistuksen kunto määrittelee, milloin hankinta pitää viimeistään toteuttaa.

Lähteet

Ahoranta, J. 2011 Sähköasennustekniikka. Helsinki: WSOYpro 2011.

Dali AG. 2001. Dalin laatima manuaali. Viitattu 20.3.2017. http://www.dali-ag.org/index.php?eID=tx_nawsecuredl&u=0&g=0&t=1494605229&hash=e6ab90c576a61b792f26c9a2c9ae9243e4352e10&file=fileadmin/user_upload/pdf/news-service/brochures/DALI_Manual_engl.pdf

DIALux evo – new calculation method. N.d. DIALuxin kokoama tietopaketti ohjelmasta. Viitattu 25.3.2017. https://www.dial.de/fileadmin/documents/dialux/DIALux_downloads/DIALux_evo-New_calculation_method.pdf

Halonen, L. & Lehtovaara, J. 1992. Valaistustekniikka. Espoo: Otatieto

Haverila, M., Kouri I., Miettinen A. & Uusi-Rauva E. 2009. Teollisuustalous. Tampere: Infacs johtamistekniikka

Jetta-talo meistä. N.d. Jetta Talo Oy. Viitattu 2.3.2017. <https://www.jetta-talo.fi/meista/>

Kymmenen asiaa, jotka sinun tulee tietää ledeistä. 2013. Esite. Glamox Luxo Lighting. Viitattu 18.2.2017. https://glamox.com/upload/2013/09/26/fi_singlepages-2.pdf

LED. N.d. Enston koulutuskonseptin julkaisu. Viitattu 13.2.2017. <http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojaksot/0705016/1228387313247/1228387387439/1233229692599/1233229715150.html>

Näin vertaillet ledivalaisimia 2.0. 2016. Esite. Helsinki: Teknologiateollisuus. Viitattu 25.2.2017. http://teknologiateollisuus.fi/sites/default/files/file_attachments/nain_vertaillet_ledi_valaisimia_2.0_2016_final.pdf

SFS 12464-1. 2011. Valo ja valaistus. Työkohteiden valaistus. Osa 1: Sisätilojen työkohteiden valaistus. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.

SFS 12464-2. 2014. Light and lighting. Lighting of work places. Part 2: Outdoor work places. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.

RT 11118-54. 2013. Lamput. Helsinki: Rakennustietosäätiö

ST 58.04. 2017. Ohjeita valaistuksen suunnitteluun ja toteutukseen. Espoo: Sähköinfo Oy.

ST 58.08. 2009. Valonlähteiden ominaisuudet. Espoo: Sähköinfo Oy.

Suureita ja yksiköitä. N.d. Opas Enston sivuilta. Viitattu 13.3.2017 <https://www.ensto.com/fi/tuki/tyokalut/valaistusopas/suureita-ja-yksikoita/>

Tiensuu, A. 2010. Uusi valaistuskirja. Helsinki: Viherympäristöliitto ry

Valaistussuunnittelija käsikirja. N.d. Käsikirja. Fagerhult. Viitattu 3.3.2017 http://np.netpublicator.com/np/n30265811/tekniskinfo_fi_09.pdf

Liitteet

Liite 1. Investointilaskelmat eri vaihtoehtoilla

Vanha valaistus			Uusi valaistus ilman ohjausta		
			Hankintakustannukset		
			LED 1	98	€/kpl
			LED 2	128	€/kpl
			LED 3	128	€/kpl
			LED 4	150	€/kpl
			LED 5	165	€/kpl
			LED 6	203	€/kpl
			LED 7	566	€/kpl
			LED 1	50	kpl
			LED 2	67	kpl
			LED 3	173	kpl
			LED 4	47	kpl
			LED 5	29	kpl
			LED 6	60	kpl
			LED 7	100	kpl
			LED 1	4900	€
			LED 2	8576	€
			LED 3	22144	€
			LED 4	7050	€
			LED 5	4785	€
			LED 6	12180	€
			LED 7	56600	€
			Hankintahinta	116235	€
			Purku- ja asennuskustannukset		
			Sähkömiehen palkka	25	€/h
			Työtunnit	351	h
			Kaapelit	4269	€
			Valaisinkiskot	3500	€
			Purku- ja asennuskustannukset	16535	€
			Rakennuskustannukset	132770	€
Tunnit ulkoalueet	3200	h	Tunnit ulkoalueet	3200	h
Energiankulutus hallit	76197,6	kWh	Energiankulutus hallit	36686	kWh
Energiankulutus varastot	49149,6	kWh	Energiankulutus varastot	29764	kWh
Energiankulutus ulkoalueet	61171,2	kWh	Energiankulutus ulkoalueet	39600	kWh
Kokonaisenergiankulutus	186518,4	kWh	Kokonaisenergiankulutus	106050	kWh
Kustannus hallit	8382	€	Kustannus hallit	4035	€
Kustannus varastot	5406	€	Kustannus varastot	3274	€
Kustannus ulkoalueet	6729	€	Kustannus ulkoalueet	4356	€
Valaistuskustannukset	20517	€	Valaistuskustannukset	11666	€
Ylläpitokustannukset nykyinen			Ylläpitokustannukset uusi		
Sähkömiehen palkka	25	€/h	Sähkömiehen palkka	25	€/h
Työtunnit	60	h	Työtunnit	2	h
Kustannukset	1500	€	Kustannukset	50	€
Uudet valaisimet	2000	€	Uudet valaisimet	0	€
Ylläpitokustannukset	3500	€	Ylläpitokustannukset	50	€
Yhteensä	24017	€	Yhteensä	11716	€
			Säästö	12302	€
			Takaisinmaksuaika	10,79	a

Vanha valaistus			Uusi valaistus ohjauksella ulkoalueet		
			Hankintakustannukset		
			LED 1	98	€/kpl
			LED 2	128	€/kpl
			LED 3	128	€/kpl
			LED 4	150	€/kpl
			LED 5	165	€/kpl
			LED 6	203	€/kpl
			LED 7	566	€/kpl
			LED 1	50	kpl
			LED 2	67	kpl
			LED 3	173	kpl
			LED 4	47	kpl
			LED 5	29	kpl
			LED 6	60	kpl
			LED 7	100	kpl
			LED 1	4900	€
			LED 2	8576	€
			LED 3	22144	€
			LED 4	7050	€
			LED 5	4785	€
			LED 6	12180	€
			LED 7	56600	€
			Anturit	750	€
			Ohjaimet	2680	€
			Hankintahinta	119665	€
			Purku- ja asennuskustannukset		
			Sähkömiehen palkka	25	€/h
			Työtunnit	405	h
			Kaapelit	4269	€
			Valaisinkiskot	3500	€
			Purku- ja asennuskustannukset	17884	€
			Rakennuskustannukset	137549	€
Tunnit ulkoalueet	3200	h	Tunnit ulkoalueet	3200	h
Energiankulutus hallit	76197,6	kWh	Energiankulutus hallit	36686	kWh
Energiankulutus varastot	49149,6	kWh	Energiankulutus varastot	29764	kWh
Energiankulutus ulkoalueet	61171,2	kWh	Energiankulutus ulkoalueet	7920	kWh
Kokonaisenergiankulutus	186518,4	kWh	Kokonaisenergiankulutus	74370	kWh
Kustannus hallit	8382	€	Kustannus hallit	4035	€
Kustannus varastot	5406	€	Kustannus varastot	3274	€
Kustannus ulkoalueet	6729	€	Kustannus ulkoalueet	871	€
Valaistuskustannukset	20517	€	Valaistuskustannukset	8181	€
Ylläpitokustannukset nykyinen			Ylläpitokustannukset		
Sähkömiehen palkka	25	€/h	Sähkömiehen palkka	25	€/h
Työtunnit	60	h	Työtunnit	2	h
Kustannukset	1500	€	Kustannukset	50	€
Uudet valaisimet	2000	€	Uudet valaisimet	0	€
Ylläpitokustannukset	3500	€	Ylläpitokustannukset	50	€
Yhteensä	24017	€	Yhteensä	8231	€
			Säästö	15786	€
			Takaisinmaksuaika	8,71	a

Vanha valaistus			Uusi valaistus ohjauksella kokonaan		
			Hankintakustannukset		
			LED 1	98	€/kpl
			LED 2	128	€/kpl
			LED 3	128	€/kpl
			LED 4	150	€/kpl
			LED 5	165	€/kpl
			LED 6	203	€/kpl
			LED 7	566	€/kpl
			LED 1	50	kpl
			LED 2	67	kpl
			LED 3	173	kpl
			LED 4	47	kpl
			LED 5	29	kpl
			LED 6	60	kpl
			LED 7	100	kpl
			LED 1	4900	€
			LED 2	8576	€
			LED 3	22144	€
			LED 4	7050	€
			LED 5	4785	€
			LED 6	12180	€
			LED 7	56600	€
			Anturit	1500	€
			Ohjaimet	10240	€
			Hankintahinta	127975	€
			Purku- ja asennuskustannukset		
			Sähkömiehen palkka	25	€/h
			Työtunnit	457	h
			Kaapelit	4269	€
			Valaisinkiskot	3500	€
			Purku- ja asennuskustannukset	19204	€
			Rakennuskustannukset	147179	€
			Tunnit ulkoalueet	3200	h
Tunnit ulkoalueet	3200	h	Energiankulutus hallit	36686	kWh
Energiankulutus hallit	76197,6	kWh	Energiankulutus varastot	5953	kWh
Energiankulutus varastot	49149,6	kWh	Energiankulutus ulkoalueet	7920	kWh
Energiankulutus ulkoalueet	61171,2	kWh	Kokonaisenergiankulutus	50559	kWh
Kokonaisenergiankulutus	186518,4	kWh			
			Kustannus hallit	4035	€
Kustannus hallit	8382	€	Kustannus varastot	655	€
Kustannus varastot	5406	€	Kustannus ulkoalueet	871	€
Kustannus ulkoalueet	6729	€	Valaistuskustannukset	5561	€
Valaistuskustannukset	20517	€			
			Ylläpitokustannukset nykyinen		
			Sähkömiehen palkka	25	€/h
			Työtunnit	60	h
			Kustannukset	1500	€
			Uudet valaisimet	2000	€
			Ylläpitokustannukset	3500	€
Yhteensä	24017	€	Yhteensä	5611	€
			Säästö	18406	€
			Takaisinmaksuaika	8,00	a